

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 374 832**

51 Int. Cl.:
C23C 14/32 (2006.01)
H01J 37/32 (2006.01)
C23C 14/28 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06700563 .7**
96 Fecha de presentación: **19.01.2006**
97 Número de publicación de la solicitud: **1863947**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **12.12.2007**

54 Título: **CAPA DE MATERIAL DURO.**

30 Prioridad:
24.03.2005 CH 518052005
03.08.2005 CH 12892005

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
22.02.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
22.02.2012

73 Titular/es:
Oerlikon Trading AG, Trübbach
9477 Trübbach, CH

72 Inventor/es:
RAMM, Jürgen;
WIDRIG, Beno y
KALSS, Wolfgang

74 Agente: **de Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 374 832 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

Capa de material duro

5 La invención se refiere tanto a un revestimiento de material endurecido en forma de un revestimiento funcional (32) mediante PVD - arco oxidico que se deposita sobre una pieza de trabajo (30) según el título general de la reivindicación 1, como a un proceso de revestimiento de una pieza de trabajo con un revestimiento de material endurecido según el título general de la Reivindicación 22.

10 El uso de fuentes de evaporador de arco, también conocidas como cátodos de descarga de chispa, por medio de alimentación mediante una corriente pulsada se ha conocido a partir de los estudios especializados durante cierto tiempo. Se pueden conseguir velocidades de evaporación elevadas, y así velocidades elevadas de depósitos durante el revestimiento, de manera económicamente eficaz mediante el uso de fuentes de evaporación de arco. Además, la preparación de tal fuente es relativamente simple de realizar técnicamente. Estas fuentes funcionan con corrientes que están en general en el intervalo de alrededor de 100 A y más, y a tensiones desde un número bajo de voltios hasta alrededor de 10 voltios, y se pueden realizar mediante el uso de alimentaciones de corriente CC relativamente baratas. Una desventaja significativa de estas fuentes es que se desarrolla rápidamente una fusión extremadamente fluida sobre la superficie del blanco en la zona del trazo catódico, como resultado de lo cual se forman gotículas que son emitidas en forma de una pulverización y que después se condensan sobre la herramienta, por lo que tienen una influencia indeseada sobre las propiedades del revestimiento. Un resultado típico es que la estructura de las capas se hace heterogénea, y la rugosidad superficial es pobre. Cuando existe una gran demanda en la calidad del revestimiento, los revestimientos producidos de esta manera a menudo no se pueden usar comercialmente. Por lo tanto, ya se han hecho intentos de reducir este problema haciendo funcionar la fuente del evaporador de arco mediante el uso de una alimentación de corriente pulsada pura. Sin embargo, hasta ahora solamente se han podido conseguir mejoras mínimas en la formación de la pulverización.

El uso de gases reactivos para la deposición de compuestos desde un blanco metálico en un plasma reactivo se ha limitado hasta ahora a la producción de capas eléctricamente conductoras. El problema de la formación de pulverizaciones catódicas se incrementa en la producción de capas eléctricamente no conductoras, es decir, dieléctricas, tales como de óxidos, cuando se usa oxígeno como gas reactivo. La sustitución de los blancos del evaporador de arco y los contraelectrodos que es inherente al proceso en este caso, así como el revestimiento con una capa no conductora, conduce a condiciones completamente inestables, e incluso a la extinción del arco eléctrico. En este caso se debería re-encender continuamente, o de otra manera el proceso se haría imposible.

35 En el documento EP 0 666 335 B1 se hace la sugerencia de superponer en la corriente CC una corriente pulsátil para la deposición sobre materiales metálicos puros mediante el uso de un evaporador de arco para reducir el efecto de la alimentación de corriente CC básica, por lo que se reduce la formación de la pulverización catódica. Para esto, son necesarias corrientes pulsadas de hasta 5000 A, y éstas se podrían generar mediante el uso de una descarga de condensador a frecuencias de pulso relativamente bajas en el intervalo de 100 Hz a 50 kHz. Este proceso se propone para impedir la formación de gotículas durante la evaporación no reactiva de blancos metálicos puros mediante el uso de una fuente de evaporador de arco. En ese documento no se proporciona una solución para la deposición de revestimientos no conductores dieléctricos.

45 Cuando se lleva a cabo el revestimiento reactivo mediante el uso de fuentes de evaporador de arco existe una carencia de reactividad y estabilidad del proceso, en particular en la producción de revestimientos aislantes. En contraste con otros procesos de PVD (por ejemplo pulverización catódica), los revestimientos aislantes a partir de la evaporación de arco solamente se han producido hasta ahora mediante el uso de blancos eléctricamente conductores. El uso de frecuencias elevadas, como es el caso en la pulverización catódica, ha fracasado hasta ahora debido a la carencia de una tecnología adecuada para el funcionamiento de una alimentación de corriente elevada a frecuencias elevadas. El uso de alimentaciones de corriente pulsada parece ser una opción. Sin embargo, la chispa, como se mencionó anteriormente, se debe re-encender continuamente o la frecuencia de los pulsos se debe seleccionar a un nivel tan elevado que la chispa no se extinga. Esto parece funcionar para aplicaciones que usan materiales especiales, tales como con grafito, como se describió en el documento DE 3901401. Sin embargo, se debe mencionar que el grafito no es un aislante, sino que es eléctricamente conductor, aunque es peor conductor que los metales normales.

El re-encendido mediante el uso de un contacto mecánico y una alimentación eléctrica de CC no es posible para las superficies de los blancos oxidados. El problema real de la evaporación de arco reactivo es la deposición de capas aislantes sobre el blanco y el ánodo, o sobre la cámara de revestimiento cuando funciona como ánodo. Estos revestimientos aislantes incrementan la tensión de mantenimiento de la descarga de chispa en el transcurso de su formación, conducen a un incremento de la pulverización y las descargas, un proceso inestable que finaliza con la interrupción de la descarga de chispas. Esto va acompañado por el recubrimiento del blanco con un material aislante que reduce el área de la superficie conductora. Un gas reactivo extremadamente diluido (p.ej. una mezcla de argón/oxígeno) puede retrasar la formación sobre el blanco, pero no resolverá el problema esencial de la inestabilidad del proceso. La propuesta dada en el documento US 5.103.766, hacer funcionar el cátodo y el ánodo mediante el

uso del re-encendido alternante ayuda a la estabilidad del proceso, pero conduce a un incremento de la pulverización.

5 La solución de usar una alimentación de corriente pulsada, como es posible para la pulverización catódica reactiva, no se puede adaptar al uso de un proceso clásico de evaporación de chispa. Esto se debe a que la descarga luminiscente "dura más" que una chispa cuando se interrumpe la alimentación de corriente.

10 Para evitar el problema del depósito de un revestimiento aislante sobre el blanco en procesos reactivos para la creación de revestimientos aislantes, la entrada del gas reactivo puede estar separada físicamente del blanco (entonces la reactividad del proceso solamente se puede garantizar si la temperatura en el sustrato permite una oxidación/reacción), o puede tener lugar una separación entre la pulverización y la porción ionizada (el denominado arco filtrado), y los gases reactivos se pueden añadir en el vapor ionizado después de la filtración.

15 Todavía existe el deseo de reducir adicionalmente la carga térmica sobre los sustratos o de mantenerla dentro de los límites y poder llevar a cabo procesos a baja temperatura para el revestimiento catódico de chispa.

20 En el documento WO-03018862 se describe el funcionamiento pulsado de fuentes de plasma como posible manera de reducir la carga térmica en el sustrato. Sin embargo, el razonamiento se aplica en general a los procesos de pulverización catódica. No se hace referencia a la evaporación de chispa.

25 Durante cierto tiempo ha existido el deseo en el área de los revestimientos endurecidos de producir materiales endurecidos oxidados con una dureza adecuada, fuerza adhesiva y que estén determinados por las propiedades tribológicas deseadas. Una parte importante de esto se podría realizar mediante óxidos de aluminio, en particular óxidos de aluminio-cromo. La técnica anterior de la tecnología del área de PVD (deposición física en fase vapor) ha estado relacionada principalmente con la producción de óxido de aluminio gamma y alfa. El proceso que se cita más es la pulverización catódica mediante magnetrón doble, que tiene desventajas significativas para esta aplicación en cuanto a la fiabilidad del proceso y el coste. Las patentes japonesas se concentran más en sistemas de revestimiento con respecto a las herramientas, y citan el proceso de recubrimiento iónico de arco, por ejemplo, como método de producción. Existe el deseo general de poder depositar óxido de aluminio alfa. Sin embargo, en los procesos normales de PVD son necesarias temperaturas del sustrato de alrededor de 700 °C o más, de manera que se pueda mantener la estructura. Algunos usuarios han intentado evitar estas temperaturas elevadas de una manera elegante por medio de capas de nucleación (la oxidación de TiAlN, sistema Al-Cr-O). Pero esto no hace necesariamente que el proceso sea más barato y más rápido. Hasta ahora también ha parecido imposible producir capas de óxido de aluminio alfa de una manera satisfactoria mediante el uso de la evaporación de arco.

35 En la publicación de Leng Y.X. et al.: "Influence of oxygen pressure on the properties and biocompatibility of titanium oxide fabricated by metal plasma ion implantation and deposition" (Thin Solid Films 420-421 / 2002, páginas 408-413, ISSN 0040-6090/02) se describe un proceso que usa una chispa pulsada que funciona de una manera discontinua, es decir, se debe re-encender siempre. Las duraciones de los pulsos son de 1 ms y la corriente media de la chispa a lo largo del tiempo es de alrededor de 1 A. La fuente de chispa se proporciona como un "arco filtrado", es decir, el blanco o cátodo con un diámetro de 14 mm se acopla a una distancia del equipo mediante el uso de un tramo curvado de tubería con un sistema de imanes. En esta manera, solamente se separan los iones metálicos del blanco y se desvían sobre la muestra (sustrato). El oxígeno se alimenta en la cámara del equipo a una distancia adecuada del blanco. No tiene lugar una evaporación de chispa continua. Así se pretende específicamente evitar que el blanco se cubra con óxido, y mantener el oxígeno lejos de la descarga en el blanco.

40 El proceso descrito es la implementación iónica por plasma, en la que se producen iones de Ti mediante una chispa breve, que se interrumpe continuamente, y se aceleran rápidamente hacia la muestra (sustrato). La chispa no está localizada en la cámara de revestimiento, sino que está montada con abrazaderas a distancia mediante el uso de un sistema de filtros. Se usa una tensión de aceleración elevada de hasta 3 kV para la implantación de los iones de Ti sobre la superficie de la muestra. La chispa en este caso solamente es el suministrador de los iones de Ti. Además, el sustrato se coloca a una tensión de polarización negativa para acelerar adicionalmente los iones sobre la superficie del sustrato. Además de una oxidación parcial de los iones metálicos en la región de la superficie del sustrato, un aspecto importante es que los iones de Ti se implantan en la pieza de trabajo y todo se calienta finalmente hasta 750 °C en un medio con O₂ (recocido), y solamente entonces se oxidan para convertirse en un óxido de metal. El revestimiento de conexión, el óxido metálico, solamente se forma o se desarrolla sobre la superficie del sustrato. Los iones metálicos implantados reaccionan adicionalmente y de manera significativa fuera del sustrato con el oxígeno como resultado del recocido.

50 La solicitud de patente EP 1 505 171 A1 se refiere a la implantación de Al y Cr sobre el sustrato con una oxidación térmica posterior (recocido), que debía conducir a un revestimiento de Al-Cr-O. Los átomos de Al y Cr se implantan profundamente, hasta 2 µm, en una matriz principal en el sustrato mediante el uso de 175 KeV, por ejemplo, bombardeando el sustrato con una forma adecuada de haz de iones. Después, en una segunda etapa, la superficie del sustrato, junto con el metal implantado, se convierte en un óxido mediante tratamiento térmico a 700 °C en presencia de oxígeno. Como resultado, la superficie del sustrato se oxida junto con el material previamente implantado. La

formación de la capa en la superficie del sustrato se da de una manera similar a la descrita en el artículo de Leng X.Y. por medio de la acumulación de un óxido en conexión con las partículas metálicas del cuerpo del sustrato.

5 En el documento WO 2004/059030 se presentan revestimientos de material endurecido de AlCrN. Esto implica esencialmente revestimientos de nitruro, algunos con un contenido de óxido. Los revestimientos se depositan mediante el uso de un proceso de PVD, esencialmente en un medio de nitrógeno puro o mezclado con un gas inerte. Se pueden añadir gases adicionales a la mezcla, tales como oxígeno, para la deposición de AlCrNO, AlCrCO, AlCrBNO, etc. mediante el uso de una fuente de evaporador de arco catódico.

10 En la solicitud EF 0 366 289 se presentan sistemas multi-capa de Al que se producen con el método conocido que usa pulverización catódica. Se producen capas cerámicas mediante el uso de la pulverización catódica reactiva de alta frecuencia en presencia de un gas reactivo.

15 La solicitud DE 199 02 146 A1 se refiere a una descarga de cátodo hueco que difiere de una descarga de chispa en que el material del cátodo no se vaporiza, sino que el cátodo hueco simplemente suministra electrones que después excitan por pulsos y activan mediante el plasma un vapor generado mediante otros métodos (tal como a partir de un proceso de evaporación mediante crisol) o gases introducidos de otra manera. El cátodo tiene forma de varilla, y no tiene un área superficial grande ni es liso, como es el caso para las fuentes de evaporación de arco. Las velocidades de deposición posibles dependen de la otra forma de evaporación que se combina con este cátodo hueco. Se describe un montaje mediante el uso de un cátodo hueco para la generación de capas oxídicas, tales como, en particular, TiOx y TiO₂. Para esto, se introduce Ar en la cámara a través del cátodo hueco como gas de trabajo, y gas O₂ a través del montaje de una boquilla. Los gases implicados en el proceso se introducen así por separado. También se propone que el material de revestimiento se alimente a través de un crisol de vaporización.

25 En una publicación adicional de Hirofumi Takikawa et al.: "Properties of titanium oxide film prepared by reactive cathodic vacuum arc deposition" (Thin Solid Films 348 / 1999, páginas 145-151, ISSN 0040-6090/99) se describe un proceso para la deposición reactiva de capas finas de TiO₂ en forma de un revestimiento óptico sobre un sustrato de vidrio mediante el uso de la deposición de arco, tanto con un arco sin filtrar como con un arco filtrado.

30 Con referencia al estado de la técnica más reciente, a continuación se presenta un resumen de las desventajas, en particular con respecto a la producción de revestimientos oxídicos, mediante el uso de un proceso reactivo:

35 1. No es posible un control de proceso estable para la deposición de capas aislantes cuando no hay una separación física entre el cátodo o ánodo del evaporador de arco para la descarga del arco y el área del sustrato al usar una entrada de gas reactivo.

40 2. No hay una solución esencial para el problema de la generación de pulverización: los conglomerados (gotículas de pulverización) no reaccionan completamente, lo que da como resultado la formación metálica dentro del revestimiento, la generación de rugosidad en la superficie del revestimiento y una deformación de la uniformidad de la estructura del revestimiento y la estequiometría.

3. Hay posibilidades inadecuadas para la realización de procesos a temperatura baja, ya que la carga térmica en los sustratos es demasiado grande e inadecuada para la producción de óxidos con fases de temperatura elevada.

45 4. Hasta ahora no ha sido posible la producción de revestimientos intermedios graduados lisos para revestimientos aislantes mediante el uso de evaporación de arco.

50 En contraste con la pulverización catódica, el revestimiento mediante el uso de chispas catódicas es esencialmente un proceso de vaporización. Se supone que se desprenden partes durante la transferencia entre el trazo del cátodo caliente y su borde que son de tamaño sub-atómico. De esta forma, estos conglomerados impactan en el sustrato, y dan como resultado revestimientos rugosos que no pueden reaccionar completamente con las gotículas de la pulverización. Hasta la fecha no se ha podido conseguir evitar o dividir estas gotículas, especialmente para los procesos de revestimiento reactivos. En tales procesos se forma un óxido fino adicional sobre el cátodo de la fuente de evaporador de arco, por ejemplo en una atmósfera de oxígeno, que da como resultado el incremento de la formación de gotículas de pulverización.

60 La intención de la invención en cuestión es la eliminación de las desventajas proporcionadas por el estado de la técnica actual, tal como se mencionó anteriormente. En particular, su propósito es permitir la deposición económicamente eficaz de revestimientos con propiedades mejoradas mediante el uso de al menos una fuente de evaporador de arco, de tal manera que la reactividad en el proceso se incrementa por medio de una mejor ionización del material vaporizado y el gas reactivo implicado en el proceso. En este proceso reactivo se pretende que el tamaño y la frecuencia de las gotículas se reduzcan significativamente, en particular en procesos reactivos para la producción de revestimientos aislantes. Además, se pretende conseguir una forma mejor de control del proceso, tal como para la monitorización de las velocidades de vaporización, un incremento en la calidad de los revestimientos, la capacidad de variar las características del revestimiento, una mejora en la homogeneidad de la reacción y una reducción en la

rugosidad de la superficie del revestimiento depositado. Estas mejoras también son de importancia particular en la producción de revestimientos graduados y / o aleaciones. Se pretende mejorar en general la estabilidad del proceso en procesos reactivos para la generación de revestimientos aislantes.

- 5 En particular, se pretende conseguir un proceso de evaporación de arco que permita la deposición económicamente eficaz de revestimientos endurecidos oxidicos, revestimientos de óxido de aluminio y / o óxido de aluminio-cromo que, cuando sea posible, posean una estructura alfa y / o gamma.

10 Además, se pretende conseguir un proceso a temperatura baja, preferiblemente por debajo de 700 °C, también con un nivel elevado de eficacia económica en el proceso. Además, se debería poder mantener tan bajo como sea posible el coste del equipo y en particular de la alimentación eléctrica para el funcionamiento pulsado. Los objetivos proporcionados anteriormente se pueden dar individualmente y en combinación, dependiendo de las necesidades del área de aplicación.

15 Según la invención, este propósito se cumple de acuerdo con la Reivindicación 1 mediante la producción de un revestimiento endurecido mediante el uso de un proceso de PVD mediante evaporación de arco y mediante un proceso de acuerdo con la Reivindicación 22 para la producción de tal revestimiento sobre una pieza de trabajo. Las reivindicaciones dependientes de esta proporcionan formas beneficiosas adicionales de llevar a cabo este proceso.

20 Según la invención, este propósito se consigue mediante la formación de un revestimiento endurecido en forma de un revestimiento funcional (32) mediante PVD de arco con conglomerados parcialmente reaccionados que forman elementos metálicos en el revestimiento, y esto se deposita sobre una pieza de trabajo compuesta de materiales metálicos (30) que es una herramienta de corte, perfilado, moldeado por inyección o prensado y que es, cuando sea posible, un inserto rotatorio; este revestimiento se forma como un óxido eléctricamente aislante, que comprende al menos uno de los metales (Me) de los metales de transición Zr, Cr, Mo y Al, Si, Fe, Co, Ni, Y, y el revestimiento
25 funcional (32) tiene un contenido de gas inerte y de halógeno de menos del 2%. El contenido de gas inerte debería ser preferiblemente menor del 0,1%, aún mejor menor del 0,05%, o idealmente debería ser cero, y / o el contenido de halógeno debería ser menor del 0,5%, aún mejor menor del 0,1% o idealmente debería ser cero. Estos gases deberían estar presentes en un volumen tan bajo como fuera posible en el revestimiento, y el proceso de evaporación de arco se debería llevar a cabo por lo tanto mediante el uso de un gas reactivo puro o una mezcla de gases reactivos puros sin la presencia de gases inertes, tales como He, Ne, Ar, o gases halógenos, tales como F₂, Cl₂, Br₂, J₂, o compuestos que contienen halógenos, tales como CF₆ o sustancias similares.

35 Los procesos de CVD conocidos usan gases halógenos que depositan un revestimiento a temperaturas elevadas indeseadas de alrededor de 1100 °C. Los procesos de pulverización catódica conocidos funcionan mediante el uso de proporciones elevadas de gases inertes, tales como argón, incluso en condiciones de procesos reactivos. El contenido de tales gases en el revestimiento debería estar por debajo de los valores proporcionados anteriormente, o preferiblemente debería ser cero. El proceso de evaporación de arco pulsado de la invención permite el funcionamiento sin el uso de tales gases de proceso.

40 La solicitud de patente previa con el número de solicitud CH 00518/05 muestra básicamente una aproximación para la solución de este problema. Se presenta una solución inicial que es especialmente adecuada para superficies de blancos que reaccionan completamente, y demuestra una reducción significativa de la formación de gotículas en comparación con los blancos del evaporador de arco que funciona con CC. En esta solicitud se propone que la alimentación de CC para una fuente de evaporador de arco se superpone con un pulso eléctrico de corriente elevada de una alimentación eléctrica pulsada, tal como se muestra de forma esquemática en la Fig. 2.

45 Se consigue una reducción adicional de las gotículas y de su tamaño con un nivel mayor de eficacia económica mediante el proceso proporcionado en la siguiente solicitud de patente CH 01289/05 que tiene prioridad sobre CH 00518/05 y que representa un desarrollo ampliado de esto. En esta solicitud, se propone una unidad de proceso en vacío para el tratamiento superficial de piezas de trabajo mediante el uso de al menos una fuente de evaporador de arco, con un electrodo inicial que se conecta a una alimentación eléctrica de CC; se propone además un segundo electrodo que se localiza por separado de la fuente de evaporador de arco, y ambos electrodos están conectados a una única alimentación eléctrica pulsada. Se coloca así un circuito de descarga adicional entre los dos electrodos
50 solamente con una única alimentación eléctrica pulsada, lo que permite una velocidad especialmente elevada de ionización de los materiales implicados con una buena capacidad para controlar el proceso.

60 El segundo electrodo puede ser en este caso una fuente de evaporador de arco adicional, un soporte para la pieza de trabajo o la pieza de trabajo propiamente dicha, en donde el segundo electrodo en este caso se hace funcionar como un electrodo de polarización, o el segundo electrodo también puede tomar la forma de un crisol de vaporización que funciona como ánodo de un evaporador de arco de baja tensión.

65 Un montaje especialmente preferible es aquel en el que ambos electrodos son cada uno los cátodos para una fuente de evaporador de arco, y en el que estas fuentes de evaporador de arco están cada una conectadas independientemente a una alimentación eléctrica de CC para mantener una corriente de retención, y en el que ambos cátodos

están conectados a una única conexión de alimentación pulsada de tal manera que los arcos o las descargas de arco de ambas fuentes operativas no se extinguen. Así, solamente es necesaria una alimentación eléctrica pulsada en esta configuración, ya que se coloca inmediatamente entre ambos cátodos de los evaporadores de arco. Además del nivel elevado de ionización y la buena capacidad para controlar el proceso, este montaje también tiene un nivel elevado de eficacia. Entre estos dos electrodos y la sección de descarga por pulsos generados adicionalmente se forma eléctricamente un pulso bi-polar negativo y positivo en esta sección de descarga, como resultado de lo cual se puede usar todo el periodo de este voltaje CA suministrado para el proceso. No se crean realmente pausas de pulsos sin usar, y tanto los pulsos negativos como los positivos en total proporcionan una contribución ininterrumpida para el proceso. La velocidad de deposición se puede incrementar adicionalmente sin tener que usar alimentaciones eléctricas pulsadas adicionales y caras. Este montaje con dos fuentes de evaporador de arco es especialmente adecuado para la deposición de revestimientos desde un blanco metálico mientras se usa un gas reactivo. Con este montaje incluso es posible trabajar completamente sin gases inertes de soporte, tales como argón, y se puede hacer funcionar mediante el uso de un gas reactivo puro, incluso, sorprendentemente, con oxígeno puro. Como resultado del nivel elevado de ionización obtenible, tanto el material vaporizado como el gas reactivo, tal como oxígeno, se producen revestimientos no conductores con un nivel mayor de calidad que se acercan a la calidad del material en bruto. El proceso también funciona de una manera muy estable, y, sorprendentemente, la formación de gotículas también se reduce drásticamente o se evita casi completamente. Sin embargo, las ventajas anteriormente mencionadas también se pueden conseguir por medio del uso de otras fuentes como un segundo electrodo, tal como un electrodo de polarización o un crisol evaporador de arco de baja tensión, aunque los efectos ventajosos anteriormente mencionados no se consiguen al mismo nivel que con el montaje con dos evaporadores de arco.

La presente solicitud tiene prioridad sobre las dos solicitudes CH 00518/05 y 01289/05 previamente mencionadas, que demuestran básicamente una aproximación inicial a una solución para el problema en cuestión de la deposición de revestimientos oxidicos eléctricamente no conductores. La invención presentada en la presente solicitud de patente representa un desarrollo adicional con respecto al control y la aplicación del proceso. Estas dos solicitudes son, por lo tanto, componentes integrantes de la presente solicitud.

La invención se muestra con más detalle en la siguiente sección en forma de ejemplos y esquemas. Estos muestran:

- 30 Fig. 1 una representación esquemática de un equipo de evaporador de arco que equivale al estado de la técnica actual;
- Fig. 2 un montaje inicial según la invención con una fuente de evaporador de arco alimentada con CC en funcionamiento con un pulso superpuesto de corriente elevada;
- 35 Fig. 3 un segundo montaje con dos fuentes de evaporador de arco alimentadas con CC y, colocada entre ellas, una alimentación eléctrica pulsada de corriente elevada y, de acuerdo con la invención, un montaje de evaporación de arco de pulso doble;
- 40 Fig. 4 una sección transversal a través de un revestimiento depositado en forma de un revestimiento multi-capa, según la invención;
- Fig. 5 una sección transversal ampliada del revestimiento de la Figura 4.

45 En la Fig. 1 se muestra una unidad de proceso en vacío, que es parte de un montaje del estado de la técnica, para el funcionamiento de una fuente de evaporador de arco 5 por medio de una alimentación de corriente CC 13. La unidad 1 está equipada con un sistema de bombas 2 para la creación del vacío necesario en la cámara de la unidad de proceso en vacío 1. El sistema de bombas 2 permite el funcionamiento del equipo de revestimiento a una presión 10^{-1} mbar y también asegura el funcionamiento con los gases reactivos típicos, tales como O_2 , N_2 , SiH_4 , hidrocarburos, etc. Los gases reactivos se introducen en la cámara 1 por medio de una entrada de gas 11 y se distribuyen dentro. También es posible introducir gases reactivos adicionales a través de entradas de gas adicionales, o también gases inertes, tales como argón, si es necesario, por ejemplo, para procesos de ataque químico o para la deposición de revestimientos no reactivos, para poder usar los gases individualmente y/o en mezclas. El soporte 3 para la pieza de trabajo mostrado en el montaje de la unidad se usa para sujetar y proporcionar el contacto eléctrico para las piezas de trabajo, que no se muestran aquí, y que normalmente están fabricadas de materiales metálicos, y para la deposición de revestimientos de material endurecido mediante el uso de tales procesos. Una fuente de corriente polarizada 4 se conecta eléctricamente con el soporte 3 de la pieza de trabajo para suministrar una tensión al sustrato o una tensión polarizada a las piezas de trabajo. La fuente de corriente polarizada 4 puede ser una fuente de corriente de sustrato de CC, CA o bi-polar o unipolar pulsada. Se puede introducir un gas inerte o reactivo a través de una entrada (11) de gas de proceso para proporcionar y controlar la presión del proceso y la combinación de gases en la cámara de tratamiento.

65 Los elementos de la fuente de evaporador de arco 5 son un blanco 5' con una placa de refrigeración detrás de ella y una varilla de encendido 7 que está localizada en el área periférica de la superficie del blanco, además de un ánodo 6 que rodea el blanco. Mediante el uso de un interruptor 14 es posible seleccionar entre el funcionamiento oscilante

del ánodo 6 del polo positivo de la fuente de corriente 13 y el funcionamiento con un potencial definido de cero o potencial de tierra. Por ejemplo, mediante el uso de la varilla de encendido 7 en el encendido del arco en la fuente de evaporador de arco 5 se crea un contacto breve con el cátodo, y después se retira, lo que da como resultado la creación de una chispa. La varilla de encendido 7 está conectada en este ejemplo por medio de una resistencia que limita la corriente con el potencial del ánodo.

La unidad de proceso en vacío 1 se puede equipar adicionalmente para el funcionamiento con una fuente de plasma 9 si el transcurso del proceso lo requiere. En este caso, la fuente de plasma 9 se usa como una fuente para la generación de un arco de baja tensión con un cátodo caliente. El cátodo caliente puede tomar la forma de un filamento que se coloca en una cámara de ionización pequeña en la cual se introduce un gas de trabajo, tal como argón, a través de una entrada 8 de gas para la generación de una descarga de arco de baja tensión que alcanza la cámara principal del equipo de proceso en vacío 1. Se coloca de manera adecuada un ánodo 15 para la formación de la descarga de arco de baja tensión en la cámara de la unidad de proceso en vacío 1 y se hace funcionar de la manera conocida mediante el uso de una alimentación de corriente CC entre el cátodo y la fuente de plasma 9 y el ánodo 15. Si es necesario, se pueden proporcionar bobinas 10, 10' adicionales en montajes de tipo Helmholtz que se colocan alrededor de la unidad de proceso en vacío 1 para la concentración magnética y para controlar el plasma de arco de baja tensión.

Según la invención, el funcionamiento se lleva a cabo, tal como se muestra en la Figura 2, mediante el uso de la fuente de evaporador de arco 5 equipada adicionalmente con una alimentación de corriente de alta tensión pulsada 16'. Esta alimentación de corriente pulsada 16' se superpone directamente sobre la alimentación de corriente CC. Naturalmente, ambas alimentaciones se deben hacer funcionar de una manera eléctricamente desacoplada por su propia protección. Esto se puede llevar a cabo de una manera normal mediante el uso de filtros, tales como inductancias, una situación conocida para el especialista en electrónica. Simplemente mediante el uso de este montaje es posible, según la invención, depositar revestimientos únicamente mediante el uso de gas reactivo puro o mezclas de gases reactivos, tales como óxidos, nitruros, etc., sin la presencia indeseada de un gas de soporte, tal como argón, como es el caso en los procesos de pulverización catódica por PVD, o halógenos de los precursores de los procesos de CVD. En particular, así es posible generar óxidos puros eléctricamente no conductores en la forma cristalina deseada, que son muy difíciles de producir de una manera económicamente eficaz, y depositarlos en forma de un revestimiento. Así, este proceso de evaporación reactiva de arco pulsado se conoce como proceso RPAE.

En un montaje del proceso en vacío mejorado y preferido adicional proporcionado en la invención, se proporciona una segunda fuente de evaporador de arco 20 con un segundo electrodo de blanco 20' además de la primera fuente de evaporador de arco 5 con el electrodo de blanco 5, tal como se muestra en la Fig. 3. Ambas fuentes de evaporador de arco 5 y 20, se hacen funcionar mediante el uso de una alimentación de corriente CC 13 y 13' de tal manera que las alimentaciones de corriente CC aseguran el mantenimiento de la descarga de arco mediante el uso de una corriente básica. Las alimentaciones de corriente CC 13 y 13' son el estado de la técnica actual, y se pueden realizar con un coste bajo. Ambos electrodos 5' y 20', que forman los cátodos de las dos fuentes de evaporador de arco 5 y 20, están conectadas a una única alimentación de corriente pulsada 16, según la invención, que es capaz de proporcionar una corriente pulsada elevada en los dos electrodos 5' y 20' con unos pulsos de forma e inclinación definidas. En el montaje mostrado en la Fig. 3 los ánodos 6 de las dos fuentes de evaporador de arco 5 y 20 dependen del potencial eléctrico de la conexión a tierra del equipo de proceso 1. Esto se conoce, por tanto, como evaporación de arco pulsado doble (DPAE).

Es posible hacer funcionar las descargas de chispas de manera conectada a tierra o sin conectar a tierra. En el método preferido sin conexión a tierra, la primera alimentación de corriente CC 13 se conecta por medio de su polo negativo al cátodo 5' de la primera fuente de evaporador de arco y por medio de su polo positivo al ánodo opuesto de la segunda fuente de evaporador de arco 20. La segunda fuente de evaporador de arco 20 se hace funcionar de la misma manera, y la segunda alimentación de corriente 13 se conecta al polo positivo del ánodo de la primera fuente de evaporador de arco 5. Este funcionamiento cruzado de los ánodos de las fuentes de evaporador de arco conduce a una mejor ionización de los materiales del proceso. El funcionamiento sin conexión a tierra y el funcionamiento oscilante o suspendido de las fuentes de evaporador de arco 5 y 20 también se pueden llevar a cabo sin la alimentación cruzada de los ánodos. Además, es posible proporcionar un interruptor 14, tal como se muestra en la Figura 1, para poder conmutar entre el funcionamiento conectado a tierra y sin conectar a tierra, según se desee.

La alimentación para este "modo pulsado doble" debe poder pasar diversos intervalos de conductividad y todavía mantener una tensión "dura".

Esto significa que la alimentación debe proporcionar corrientes elevadas, pero sin embargo debe ser capaz de funcionar en general a una tensión estable. Un ejemplo de tal sistema de alimentación se registró al mismo tiempo que la solicitud de patente anterior nº CH 1289/05 con la referencia nº CH 518/05.

La primera y más preferida área de aplicación para esta invención es para la evaporación catódica de chispa con dos fuentes de evaporador de arco pulsado (5, 20) tal como se muestra en la Figura 3. Las impedancias para estas aplicaciones están en intervalos de alrededor de 0,01 Ω a 1 Ω . Se debe decir en este momento que normalmente las

impedancias de las fuentes entre las cuales se lleva a cabo la "pulsación doble" varían. Esto se puede deber a que están compuestas de diversos materiales o aleaciones, a que el campo magnético de las fuentes varía o a que las proporciones de los materiales en las fuentes son diferentes. El "modo pulsado doble" permite ahora equilibrar el ajuste de la anchura del pulso de tal manera que ambas fuentes usan la misma corriente. Como consecuencia, esto conduce a tensiones variables en las fuentes. Naturalmente, la alimentación de corriente también se puede cargar asimétricamente si parece deseable para llevar a cabo el proceso, que es, por ejemplo, el caso para los revestimientos graduados de diferentes materiales. La estabilidad de la tensión de un sistema de alimentación es más difícil de conseguir cuanto menor sea la impedancia del plasma en cuestión. La capacidad de conmutación y de seguimiento controlado de un sistema de alimentación de energía para diversas impedancias es una ventaja particular si se desea hacer uso del intervalo de funcionamiento completo, por ejemplo de 500 V/100 A a 50 V/1000 A o tal como se realiza en la solicitud paralela nº CH 518/05.

Las ventajas de tal montaje de cátodo pulsado doble, y en particular uno que comprende dos fuentes de evaporador de arco, se resumen a continuación:

1. Una emisión incrementada de electrones en pulsos agudos da como resultado una corriente más elevada (también corriente del sustrato) y una ionización incrementada del material evaporado y el gas reactivo;
2. La densidad incrementada de electrones también provoca una descarga más rápida en la superficie del sustrato; en la generación de revestimientos aislantes los tiempos de transferencia relativamente cortos en el sustrato (o también simplemente pausas en la tensión polarizada) son suficientes para descargar los revestimientos aislantes que se forman;
3. El funcionamiento bipolar entre las dos fuentes catódicas de evaporador de arco permite prácticamente una relación pulso-pausa del 100% (ciclo de trabajo), mientras el pulso de una fuente sola necesita siempre necesariamente una pausa y como resultado la eficacia no es tan elevada;
4. El funcionamiento pulsado doble de dos fuentes catódicas de chispas localizadas en posiciones opuestas entre sí sumerge el sustrato en un plasma denso e incrementa la reactividad en esta área, y también del gas reactivo. Esto también se demuestra en el incremento de la corriente del sustrato;
5. En procesos reactivos en una atmósfera que contiene oxígeno se pueden conseguir valores de emisión de electrones aún más elevados en el funcionamiento pulsado, y parece que se puede evitar en general la fusión en el área de la chispa, como es el caso de la evaporación clásica de blancos metálicos. Ahora es posible indudablemente trabajar de un modo reactivo oxidico puro sin gases externos o de soporte adicionales.

Para conseguir las ventajas de las propiedades del proceso que se han mencionado en las diversas formas posibles mostradas en la invención, la alimentación de corriente pulsada 16, 16' debe cumplir varios criterios. En un montaje pulsado bipolar, se debería poder desarrollar el proceso a una frecuencia que esté en el intervalo de 10 Hz a 500 kHz. Debido a las condiciones de ionización, es importante el mantenimiento de la inclinación de los flancos de los pulsos. Los valores de los flancos crecientes $U_2/(t_2-t_1)$, $U_1/(t_6-t_5)$ y de los flancos decrecientes $U_2/(t_4-t_3)$ y $U_1/(t_8-t_7)$ deberían tener una inclinación en el intervalo de 0,02 V/ns a 2 V/ns, como mínimo cuando funciona en vacío, es decir, sin carga, preferiblemente, sin embargo, también cuando está sometido a una carga. La inclinación de los flancos naturalmente tiene un efecto sobre la operación, dependiendo del nivel de la carga y de la impedancia del ambiente o de los ajustes. Las anchuras de los pulsos para un montaje bipolar tienen una ventaja de $\geq 1 \mu s$ para t_4 a t_1 y t_8 a t_5 , por lo que las pausas t_5 a t_4 y t_9 a t_8 pueden tener una ventaja general de 0 pero, en ciertas circunstancias, esto también podría ser $\leq 0 \mu s$. Si las pausas de los pulsos son $>$, se describe que esta forma de operación es discontinua y, por ejemplo, por medio de desplazamientos de tiempo variables en las anchuras de los pulsos se puede ajustar la entrada intencionada de energía en un plasma y su estabilidad. Es una ventaja particular si la alimentación de corriente pulsada se dispone de tal manera que es posible el funcionamiento pulsado de 20 a 500 A a una tensión de 1000 V; sin embargo, se debe tener en cuenta la relación de los pulsos respecto de las pausas (ciclo de trabajo), y ajustarla para la posible salida y alimentación del montaje. Además de la inclinación de los flancos de la tensión pulsada, es preferible asegurar que la alimentación de corriente pulsada (16) es capaz de alcanzar un incremento de corriente de 500 A en al menos $1 \mu s$.

Mediante el uso de la forma de funcionamiento presentada en esta memoria de las fuentes de evaporador de arco con una alimentación de CC y una alimentación de corriente elevada pulsada superpuesta (RPAE, DPAE) es posible depositar compuestos metálicos con una calidad elevada sobre una herramienta desde uno o más blancos metálicos en una atmósfera de gas reactivo. Esto es especialmente adecuado para la producción de revestimientos oxidicos puros, ya que el proceso no requiere gases de soporte adicionales, tales como gases inertes, tales como argón. La descarga de plasma del evaporador de arco 5 se puede llevar a cabo así preferiblemente en una atmósfera de oxígeno puro a la presión de trabajo deseada sin que la descarga sea inestable, se vea impedida o proporcione resultados inviables, tal como formación demasiado intensa de salpicaduras o propiedades de revestimiento pobres. También es innecesario, como es el caso en los procesos de CVD, tener que hacer uso de compuestos de halógenos. Esto posibilita la producción económicamente eficaz de revestimientos oxidicos de material endurecido resistentes al

desgaste de una calidad elevada a temperaturas de proceso bajas, preferiblemente por debajo de 500 °C, pero que en su forma final, sin embargo, son resistentes a temperaturas elevadas, preferiblemente >800 °C, y que tienen propiedades químicamente muy duraderas, tales como una resistencia elevada a la oxidación. Además, para conseguir un sistema de revestimiento estable, se debería evitar cuando sea posible la difusión de oxígeno con la oxidación asociada en el sistema de revestimiento que está situado más profundamente y / o sobre la herramienta.

Ahora se pueden producir fácilmente revestimientos oxidicos en oxígeno puro como gas reactivo a partir de los metales de transición de los sub-grupos IV, V y VI del sistema periódico y Al, Si, Fe, Co, Ni e Y, y se prefieren Al, Cr, Mo, Zr y Fe, Co, Ni e Y. El revestimiento funcional 32, como un óxido de uno o más de estos metales, no debería contener gas inerte y/o halógeno, tal como Cl, pero como mínimo menos del 0,1% o preferiblemente menos del 0,05% de gas inerte y menos del 0,5%, o preferiblemente menos del 0,1%, de halógeno, para conseguir la calidad deseada del revestimiento. Tales revestimientos funcionales 32 o sistema de revestimiento de capas múltiples 33 (Multi-capa) deberían tener, en particular como revestimiento de material endurecido, un grosor en el intervalo de 0,5 a 12 µm, preferiblemente de 1,0 a 5,0 µm. El revestimiento funcional se puede depositar directamente sobre la pieza de trabajo 30 que es una herramienta, una pieza de una máquina o preferiblemente una herramienta de corte, tal como un inserto rotatorio. Al menos se puede depositar un revestimiento adicional o un sistema de revestimiento entre este revestimiento y la pieza de trabajo 30, en particular para la formación de un revestimiento intermedio 31 que actúa como un revestimiento adhesivo y que preferiblemente contiene uno de los metales de los sub-grupos IVa, Va y VIa del sistema periódico y / o Al o Si, o una mezcla de estos. Se consiguen buenas propiedades adhesivas con compuestos de estos metales con N, C, O, B, o mezclas de los mismos, y se prefiere el compuesto que contiene N. El grosor del revestimiento intermedio 31 debería estar en el intervalo de 0,05 a 5 µm, preferiblemente 0,1 a 0,5 µm. Es ventajoso que al menos uno de los revestimientos funcionales 32 y / o el revestimiento intermedio 31 se formen como un revestimiento progresivo 34, lo que conduce a una mejor transferencia de las propiedades de cada una de las capas. La progresión puede ser de metálico a nítrico, a nitro-oxidico y hasta un óxido puro. Se forma un área de progresión 34 en la que los materiales de las capas adyacentes, o, cuando no hay ninguna capa intermedia, el material de la herramienta, se mezclan entre sí.

Se puede depositar un revestimiento adicional o un sistema de revestimiento 35 sobre el revestimiento funcional 32 como un revestimiento de cobertura, si es necesario. Se puede depositar un revestimiento de cobertura 35 como una capa de reducción de la fricción adicional para la mejora adicional del comportamiento tribológico de la pieza de trabajo 30.

Es posible, dependiendo de la necesidad, formar uno o más revestimientos de las capas o sistemas de revestimiento anteriormente mencionados en el área en el que se limitan entre sí como capas progresivas o para producir un gradiente de concentración de cualquier forma dentro de las capas individuales. En la invención en cuestión, esto es posible simplemente por medio de la entrada controlada de los gases reactivos en la unidad de proceso en vacío 1 para el ajuste de los tipos de gases necesarios y los volúmenes de gases para el proceso reactivo de plasma de arco.

Ahora es posible producir revestimientos de óxido de aluminio (Al_2O_3) con las propiedades deseadas del material endurecido como un revestimiento funcional 32 que incluso tiene esencialmente una composición estequiométrica. Los revestimientos de material endurecido especialmente ventajosos que se producen como un revestimiento funcional 32 consisten principalmente en una capa de óxido mixto de metal (Me) de aluminio de la forma $(Al_xMe_{1-x})_yO_z$, en la que Me es preferiblemente uno de los metales Cr, Fe, Ni, Co, Zr, Mo o Y, individualmente o en mezclas, ajustable dependiendo de las proporciones deseadas de x, y, y z de los materiales implicados. Además, se prefiere especialmente el cromo como metal Me en el óxido mixto de metal de $(Al_xMe_{1-x})_yO_z$ que así toma la forma $(Al_xCr_{1-x})_yO_z$ o $(AlCr)_yO_z$. Para esto, la proporción 1-x del cromo metálico en la capa es del 5 al 80 %At, preferiblemente 10 al 60 %At (% de átomos).

También es muy adecuado como revestimiento funcional 32 de material endurecido un nitruro metálico, en particular el nitruro de aluminio-cromo $(AlCr)_yN_z$ o quizás también $(AlTi)_yN_z$.

Como resultado de las posibilidades exactas del control del proceso, ahora también es posible conseguir la estructura especialmente deseable alfa y / o gamma en los óxidos de aluminio y óxidos de cromo-aluminio.

Debido a la posibilidad de ajuste simple anteriormente mencionada de las condiciones de revestimiento con su composición por medio del control de la entrada de los gases reactivos y debido al control del proceso estable, por primera vez es posible producir sistemas multi-capa 33 con un número ilimitado de capas y una composición ilimitada, e incluso con progresiones. Estas diversas capas se pueden producir a partir de diversos materiales o, lo que a menudo es una ventaja, con capas alternativas de los mismos materiales en una especie de sándwich. Un sistema de revestimiento con pares repetidos de revestimientos 33, en el que la composición de los materiales cambia periódicamente, es una ventaja para los revestimientos de materiales endurecidos 32. En particular, una formación de Me_1 respecto de un óxido de Me_2 y/o de un nitruro de Me_1 respecto de un óxido de Me_1 y/o de un nitruro de Me_1 respecto de un óxido de Me_2 proporciona resultados excelentes en cuanto al tiempo de duración, y una formación reducida de grietas en el revestimiento funcional o en este sistema de revestimiento. Se proporciona un ejemplo de

un revestimiento funcional 32 en forma de un revestimiento multi-capa 33 en la Figura 4 y, en una sección transversal aumentada, en la Figura 5. La representación es una combinación preferida de materiales de capas alternadas de nitruro de aluminio-cromo $(AlCr)_xN_y$ con óxido de aluminio-cromo $(AlCr)_xO_y$ producidas con el proceso según la invención, con una composición estequiométrica preferida de materiales. El paquete de capas contiene en este ejemplo 42 pares de capas con materiales alternados, tal como se mencionó anteriormente. El grosor total de este revestimiento funcional 32, como revestimiento multi-capa 33 es de alrededor de 4,1 μm , por lo que el grosor de un par de capas, es decir dos capas, es de 98 nm.

Otros emparejamientos de materiales preferidos adicionales son alternativamente nitruro de aluminio-zirconio $(AlZr)_xN_y$ con óxido de aluminio-zirconio $(AlZr)_xO_y$ producidos mediante el uso del proceso proporcionado en la invención, con una composición estequiométrica preferida de materiales. Para los revestimientos de material endurecido como revestimiento funcional 32 es una ventaja si el sistema de revestimiento multi-capa 33 tiene al menos 20 capas, preferiblemente hasta 500 capas. El grosor por capa debería estar en el intervalo de 0,01 a 0,5 μm , preferiblemente en el intervalo de 0,2 a 0,1 μm . En el área de las capas adyacentes individuales de los revestimientos también se pueden observar las progresiones 34 que aseguran un buen comportamiento en las transiciones.

En el ejemplo de la Figura 4 se ha depositado un revestimiento de cobertura 35 sobre el revestimiento funcional 32, 33 como un medio para reducir la fricción. El revestimiento de cobertura consiste en nitruro de titanio y tiene un grosor de alrededor de 0,83 μm .

Por debajo del revestimiento funcional hay, como ejemplo adicional, un revestimiento intermedio como revestimiento adhesivo que tiene un grosor de alrededor de 1,31 μm y que se depositó como un revestimiento intermedio de Al-Cr-N con RPAE sobre la herramienta 30.

Los revestimientos presentados en este documento, ya constituyan un sistema mono-capa o multi-capa, deberían tener preferiblemente un valor R_z de como mínimo 2 μm y/o un valor R_a de como mínimo 0,2 μm . Estos valores se miden en cada caso directamente sobre la superficie antes de cualquier posible tratamiento posterior de la superficie, tal como cepillado, irradiación, pulido, etc. Así, los valores representan una rugosidad superficial relacionada con un proceso puro. Se supone que R_a es la rugosidad media tal como se proporciona en DIN 4768. Este es el valor de la media aritmética de todas las desviaciones del perfil de rugosidad R de la línea media de l_m medida en la sección total. Se supone que R_z es la profundidad media de la rugosidad tal como se proporciona en DIN 4768. Esta es la media de las profundidades individuales de la rugosidad de cinco secciones de medida consecutivas individuales l_e en el perfil de rugosidad. R_z depende solamente de la distancia de los picos más elevados hasta las depresiones más profundas. Mediante la formación de un valor medio, se minimiza la influencia de un pico individual (o depresión), y se calcula la anchura media de la banda que rodea al perfil R.

El revestimiento proporcionado en la invención es especialmente adecuado para herramientas que se usan para cortar, perfilar, moldear por inyección o estampar, y en especial para insertos rotatorios.

A continuación, se muestra el transcurso típico del tratamiento de un sustrato en un proceso reactivo de revestimiento de evaporación de arco pulsado, mediante el uso de la invención en cuestión. Además del proceso de revestimiento propiamente dicho, en el que se usa la invención, se proporcionarán detalles de las otras etapas del proceso que implican el pre- y post-tratamiento de las herramientas. Todas estas etapas permiten amplias variaciones, algunas se podrían ignorar, acortar o prolongar en ciertas condiciones, o se podrían combinar de otras maneras.

En una primera etapa se somete normalmente a las herramientas a una limpieza química en húmedo que se lleva a cabo de diferentes maneras según el material y los antecedentes.

Ejemplo 1:

La descripción de un proceso operacional típico para la producción de un revestimiento 32 de Al-Cr-O, (y de una multi-capa 33 de Al-Cr-N/Al-Cr-O) y un revestimiento intermedio 31 de Al-Cr-N mediante el uso de RPAE (evaporación reactiva de arco pulsado) para el revestimiento de piezas de trabajo 30, tales como herramientas de corte, principalmente insertos rotatorios.

1. Pre-tratamiento (limpieza, etc.) de las piezas de trabajo (30) (sustratos), tal como lleva a cabo normalmente un especialista.

2. Colocación de los sustratos en el soporte destinado para este propósito e introducción en el sistema de revestimiento.

3. Bombeo hacia el exterior de la cámara de revestimiento 1 hasta una presión de alrededor de 10^{-4} mbar mediante el uso de un sistema de bombas, tal como lleva a cabo normalmente un especialista (prebombas / bomba de difusión, prebomba / bomba turbo-molecular, presión final alcanzable de aprox. 10^{-7} mbar)

4. Comienzo del pre-tratamiento del sustrato en el vacío mediante el uso de una etapa de calentamiento en un plasma de argón-hidrógeno u otra forma conocida de tratamiento con plasma. Este pre-tratamiento se puede llevar a cabo sin ninguna restricción mediante el uso de los siguientes parámetros:
- 5 Plasma de una descarga de arco de baja tensión con una corriente de descarga de aprox. 100 A, hasta 200 A, hasta 400 A, y los sustratos funcionan principalmente como un ánodo para esta descarga de arco de baja tensión 30.
- Caudal de argón 50 cm³/min
- 10 Caudal de hidrógeno 300 cm³/min
- Temperatura del sustrato 500°C (parcialmente por medio de calentamiento por plasma, parcialmente por medio de calentamiento radiante)
- 15 Tiempo de proceso 45 minutos
- Normalmente durante esta etapa, se coloca la alimentación entre los sustratos 30 y la tierra u otro potencial de referencia con el cual se pueden cargar los sustratos tanto con CC (principalmente positiva) o CC pulsada (unipolar, bipolar) o como FM (media frecuencia) o RF (radio frecuencia).
- 20
5. El ataque químico comienza en la siguiente etapa del proceso. Se usa para este fin el arco de baja tensión entre el filamento y el ánodo auxiliar. Se coloca una alimentación de CC, CC pulsada, MF o RF entre los sustratos y la tierra, y los sustratos se cargan en general con una tensión negativa. También se coloca una tensión positiva en los sustratos para las alimentaciones pulsadas y de MF y RF. La alimentación 4 se puede hacer funcionar de una manera unipolar o bipolar. Los parámetros del proceso 20 típicos durante esta etapa son, pero no exclusivamente:
- 25
- Flujo de argón 60 cm³/min.
- 30
- Corriente de descarga de arco de baja tensión 150 A
- Temperatura del sustrato 500°C (parcialmente por medio de calentamiento por plasma, parcialmente por medio de calentamiento radiante)
- 35
- Tiempo de proceso 30 minutos
- Para mantener la estabilidad de la descarga de arco de baja tensión en la producción de revestimientos aislantes, las operaciones se llevan a cabo mediante el uso de un ánodo auxiliar 15 conductor caliente, o se coloca una alimentación de corriente elevada pulsada entre el ánodo auxiliar 30 y la tierra.
- 40
6. Comienzo del revestimiento con el revestimiento intermedio 31 (aprox. 15 minutos)
- Revestimiento intermedio de CrN de 300 nm mediante el uso de evaporación de chispa (corriente de fuente 140 A, Ar 80 cm³/min, N₂ 1200 cm³/min, con una polarización de -80 V o de -100 V hasta -60 V o 40 V).
- 45
- El revestimiento se puede llevar a cabo con y sin un arco de baja tensión.
7. Transición hasta el revestimiento funcional 32 (aprox. 5 mins)
- 50
- En la transición hasta el revestimiento funcional propiamente dicho, las fuentes de chispa se superponen adicionalmente con pulsos de CC unipolares de una segunda alimentación de corriente en paralelo que se puede hacer funcionar a 50 kHz (Fig. 2). Además, se hace funcionar un blanco de Al de la misma manera para producir AlCr en forma de un revestimiento. En el ejemplo, el funcionamiento se llevó a cabo mediante el uso de un pulso de 10 μs / pausa de 10 μs, y se generó una corriente de hasta 150 A en los pulsos. Después se introduce oxígeno a 200 cm³/min.
- 55
8. Inversión del revestimiento de AlCrN
- Después de estabilizar el caudal de gas oxígeno, se finaliza el revestimiento de AlCrN. Para esto, se reduce el caudal de gas N₂. Esta rampa se lleva a cabo durante aprox. 10 min. Después de esto, se ajusta el caudal de Ar a cero (cuando el funcionamiento no se lleva a cabo mediante el uso de un arco de baja tensión).
- 60
9. Revestimiento con el revestimiento funcional 32
- El revestimiento de los sustratos con el revestimiento funcional propiamente dicho se lleva a cabo en un gas reactivo puro (en este caso, oxígeno). Los parámetros más importantes del proceso son:
- 65

Caudal de oxígeno 400 cm³/min

Temperatura del sustrato 500 °C

5

Corriente de la fuente de CC 60 A

Se superpone una corriente CC (unipolar) de 150 A sobre la corriente de la fuente de CC con una frecuencia de pulsos de 50 kHz y una característica de los pulsos de 10 μs por pulso / 10 μs por pausa.

10

La presión de proceso en la cámara de revestimiento es de 9×10^{-3} mbar. La polarización en los sustratos se reduce a -40 V. Ya que se producen revestimientos aislantes mediante el uso de óxido de aluminio, se usa una alimentación polarizada que se hace funcionar como CC pulsada o como MF (50 kHz - 350 kHz).

15

El revestimiento también se puede llevar a cabo simultáneamente con el arco de baja tensión. En este caso se consigue una reactividad más elevada. Además, el uso simultáneo del arco de baja tensión durante el revestimiento también tiene la ventaja de que se puede reducir la proporción de CC en las fuentes. Esta se puede reducir aún más con una corriente de arco superior.

20

El proceso de revestimiento llevado a cabo de esta manera es estable a lo largo de varias horas. El blanco 5, 5' se cubre con un revestimiento de óxido fino y liso. No se forman islas aislantes, aunque la superficie del blanco se altera como resultado del oxígeno, lo que también se puede observar en el incremento de la tensión de encendido. La superficie del blanco permanece generalmente más lisa. La chispa se da suavemente, y se divide en varias chispas pequeñas. La cantidad de pulverización catódica se reduce significativamente.

25

El proceso descrito es básicamente la versión preferida, ya que mantiene baja la demanda de la alimentación de corriente pulsada. La alimentación de CC proporciona la corriente mínima o de retención para la chispa, y la alimentación de corriente elevada pulsada 16' se usa para evitar la pulverización catódica y para asegurar el proceso. Ahora existe la posibilidad de producir sistemas multi-capa 33, es decir, revestimientos múltiples para el ejemplo de revestimiento anterior, reduciendo el caudal de oxígeno durante la deposición del revestimiento interrumpiéndola completamente mientras se conecta el caudal de nitrógeno. Esto se puede llevar a cabo tanto periódicamente como no periódicamente, únicamente con revestimientos o con una concentración mixta de oxígeno-nitrógeno. Las multicapas 33 se producen de esta manera, como se puede observar en la sección transversal de la muestra en la Figura 4 y ampliada en la Figura 5. En muchos casos este revestimiento funcional 32 cierra el revestimiento externamente sin la necesidad de un revestimiento adicional.

30

35

Las características de desgaste por el uso se pueden "completar" con uno o más revestimientos de cobertura 35, dependiendo de las aplicaciones y las necesidades. El ejemplo de las multicapas de AlCrN/AlCrO anteriormente descritas con un revestimiento superior de TiN también se muestra en la Figura 4. Como mínimo un revestimiento de cobertura 35, en este caso, puede ser posiblemente un revestimiento de reducción de la fricción, por lo que entonces el revestimiento de material endurecido 32, y el revestimiento funcional o el multi-revestimiento funcionan como un revestimiento protector para el revestimiento de reducción de la fricción 35.

40

Si se desea producir revestimientos funcionales multi-capa 33 o revestimientos intermedios multi-capa con grosores de revestimiento de óxido especialmente finos, esto se puede llevar a cabo en una variante del proceso en la que el uso de los blancos que forman el óxido tiene lugar bajo un caudal de oxígeno durante un tiempo, hasta que el blanco exhibe indicios iniciales de contaminación (un incremento de la tensión, normalmente después de unos cuantos minutos), y el caudal se cambia entonces por ejemplo a nitrógeno. Esta variante del proceso es especialmente simple, y se puede llevar a cabo mediante el uso de una tecnología actual (Fig. 1), es decir sin funcionamiento pulsado en el blanco. Sin embargo, esto no permite después un ajuste libre del grosor del revestimiento a cada una de las necesidades en cuestión.

45

50

El llevar a cabo el ejemplo anteriormente mencionado con un funcionamiento pulsado doble con dos o más fuentes de evaporador de arco proporciona ventajas adicionales en cuanto al control del proceso y la eficacia económica.

55

Ejemplo 2:

Revestimiento de herramientas 30, tales como herramientas de corte, preferiblemente insertos rotatorios, con un sistema de revestimiento de material endurecido 32 de Al-Cr-O y un revestimiento intermedio 31 de Cr-N mediante el uso de DPAE (evaporador de arco pulsado doble)

60

Etapas 1 a 5 ambas incluidas, como para el Ejemplo 1.

6. Comienzo del revestimiento con el revestimiento intermedio (aprox. 15 min)

65

Revestimiento intermedio de AlCrN de 300 nm mediante el uso de evaporación de chispa (material del blanco AlCr (50%, 50%), corriente de fuente 180 A, N₂ 800 cm³/min, con una polarización bipolar de -180 V (36 μs negativa, 4 μs positiva).

5 El revestimiento puede tener lugar con o sin un arco de baja tensión. Hasta este punto el proceso sigue el último estado de la técnica tal como se proporciona en el ejemplo en la Figura 1.

7. Transición hasta el revestimiento funcional 32 (aprox. 5 mins) En la transición hasta el revestimiento funcional 32 propiamente dicho, se disminuye el nitrógeno desde 800 cm³/min hasta aprox. 600 cm³/min y mientras tanto se introduce un caudal de oxígeno de 400 cm³/min. Después se desconecta el caudal de nitrógeno.

8. Revestimiento con el revestimiento funcional 32. Ahora la alimentación de corriente elevada pulsada bipolar 16, tal como se muestra en la Figura 3, se hace funcionar entre los dos cátodos del evaporador de arco 5, 20. En el proceso descrito se llevan a cabo las operaciones mediante el uso de un valor medio positivo y negativo temporal para la corriente de aprox. 50 A. La duración del pulso es de 10 μs para cada uno de los intervalos de tensión positiva y negativa, cada uno con una pausa de 10 μs en el medio a una tensión de 160 V. El valor máximo para la corriente por medio de la alimentación de corriente pulsada bipolar 16 depende de la forma respectiva del pulso. La diferencia de la corriente CC a través de cada uno de los cátodos de los evaporadores de arco 5, 20 y el valor máximo de la corriente pulsada bipolar no puede estar por debajo de la denominada corriente de retención del cátodo de los evaporadores de arco 5, 20, ya que de otra manera el arco (chispa) se apagaría.

Durante los primeros 10 minutos de revestimiento se modifica la polarización de -180 V a -60 V. Las velocidades de revestimiento típicas para las herramientas 30 de doble rotación están en el intervalo de 3 μm/h a 6 μm/h.

25 El revestimiento de las herramientas 30 con el revestimiento funcional 32 propiamente dicho tiene lugar, por lo tanto, en un gas reactivo puro (en este caso de ejemplo, oxígeno). Los parámetros de proceso más importantes se resumen una vez más a continuación:

30 Caudal de oxígeno 400 cm³/min

Temperatura de la herramienta 500 °C

Corriente de la fuente de CC 180 A, tanto para la fuente de Al como para la fuente de Cr

35 La corriente CC pulsada bipolar entre los dos cátodos tiene una frecuencia de 25 kHz.

Presión de proceso aprox. 9x10⁻³ mbar

40 Tal como se mencionó previamente, el revestimiento también puede tener lugar simultáneamente con el funcionamiento del arco de baja tensión. En este caso se consigue un incremento adicional de la reactividad, en particular cerca de la herramienta. Además, el uso simultáneo del arco de baja tensión durante el revestimiento también tiene la ventaja de que se puede reducir la proporción de CC en las fuentes. Esto se puede reducir adicionalmente mediante el uso de una corriente de arco más elevada.

45 El proceso de revestimiento llevado a cabo de esta manera es estable, incluso a lo largo de un periodo de varias horas. Los blancos 5', 20' de los evaporadores de arco 5, 20 se cubren con una capa de óxido fina y lisa. Esto es deseable, y también es una condición para un proceso generalmente estable y exento de pulverización catódica. El recubrimiento se manifiesta por medio de un incremento de la tensión en el blanco.

50 Se revistieron herramientas con diversos revestimientos y se sometieron a una prueba de comparación práctica en las mismas condiciones.

Condiciones para las pruebas rotatorias:

55 Se usaron revestimientos de TiAlN conocidos y revestimientos de óxido de aluminio alfa conocidos, depositados mediante el uso de CVD, como medida para estas pruebas. Para todos los revestimientos de prueba, se investigó un grosor de revestimiento de 4 μm. Se usó acero inoxidable (1.1192) como material de prueba. Se seleccionaron 1, 2 y 4 minutos como ciclo rotatorio. La velocidad de corte fue de 350 m/min, con un avance de 0,3 mm/rev, y una profundidad de 2 mm. Las condiciones se eligieron de tal manera que se pudieron conseguir tiempos de prueba cortos a temperaturas elevadas en el filo cortante de la herramienta.

60 Se investigó el desgaste en la cara libre y en la cara de corte y la rugosidad superficial del acero utilizado, y se calculó el periodo en el que se alcanzó cierto incremento de rugosidad. El tiempo de duración se calculó como la medida cuantitativa para el desgaste.

65

Resultados:

- 5 a) revestimiento mediante CVD de óxido de aluminio alfa (estado de la técnica más reciente), grosor del revestimiento $d= 4 \mu\text{m}$. La herramienta resistió la prueba de 4 minutos. Sin embargo, ya no quedó material de revestimiento en la cara de corte.
- 10 b) revestimiento de TiAlN (estado de la técnica más reciente), $d=4\mu\text{m}$. Este revestimiento mostró signos iniciales de deterioro después de menos de 2 minutos, y produjo una superficie rugosa en la pieza de trabajo.
- 10 Invención:
- 15 c) revestimiento intermedio de AlCrN, $d= 0,4 \mu\text{m}$
 multi-capa de AlCrN/AlCrO, $d= 3,6 \mu\text{m}$
 revestimiento superior de TiN, $d= 0,8 \mu\text{m}$
 Tiempo de estabilidad 4 minutos
- 20 d) revestimiento intermedio de AlCrN, $d= 0,4 \mu\text{m}$
 multi-capa de AlCrN/AlCrO, $d= 3,6 \mu\text{m}$
 3 min 40 s
- 25 e) revestimiento intermedio de AlCrN, $d= 0,3 \mu\text{m}$
 capa simple de AlCrO, $d= 2,9 \mu\text{m}$
- 30 revestimiento superior de TiN, $d= 0,9 \mu\text{m}$
 4 minutos
- 35 f) revestimiento intermedio de AlCrN, $d= 0,35 \mu\text{m}$
 capa simple de AlCrO, $d= 3,5 \mu\text{m}$
 3 min 20 s
- 40 g) revestimiento intermedio de ZrN, $d= 0,3 \mu\text{m}$
 multi-capa de ZrN/AlCrO, $d= 3,8 \mu\text{m}$
 revestimiento superior de ZrN, $d= 0,5 \mu\text{m}$
- 45 3 min 10 s
- 50 h) revestimiento intermedio de ZrN, $d= 0,2 \mu\text{m}$
 multi-capa de ZrO/AlCrO, $d= 6,4 \mu\text{m}$
 revestimiento superior de ZrN, $d= 0,8 \mu\text{m}$
 4 min
- 55 i) revestimiento intermedio de AlCrN, $d= 0,5 \mu\text{m}$
 multi-capa de AlCrO/aluminio alfa, $d= 8,2 \mu\text{m}$
- 60 4 min
- k) revestimiento intermedio de (Ti,AlCrN), $d= 0,4 \mu\text{m}$
 multi-capa de AlCrO/TiAlCrN, $d= 4,5 \mu\text{m}$
- 65

3 min 50 s

5 Los revestimientos, o los revestimientos oxídicos que contienen multi-capas, que están hechos de los materiales proporcionados muestran un desgaste significativamente menor a velocidades de corte elevadas. Los revestimientos conductores (TiAlN), basados en la técnica más reciente, son significativamente inferiores en cuanto al desgaste en comparación con los sistemas de óxido de la invención a velocidades de corte elevadas. Los sistemas basados en la invención en cuestión hechos de $(AlCr)_xO_z$ y $(AlZr)_xO_z$ muestran un desgaste bajo similar al de los revestimientos por CVD conocidos de óxido de aluminio, pero sin la desventaja de la exposición a temperaturas elevadas y la fatiga debida a productos químicos agresivos de la pieza de trabajo durante el proceso de revestimiento. Además, el control del proceso se puede simplificar en gran medida por medio de la conmutación de los gases o por un ajuste controlado de las proporciones de los gases (p.ej. de O_2 a N_2) y / o la conmutación de un blanco, o el ajuste controlado de las proporciones de la alimentación del blanco, mientras en los procesos por CVD es necesaria la limpieza intermedia y el ajuste del nivel de la temperatura para revestimientos individuales en un sistema de revestimiento multi-capas.

10

15

REIVINDICACIONES

- 5 1. Una capa de material duro como una capa de PVD de arco (32) con conglomerados reaccionados de manera incompleta que forman las partes metálicas de la capa depositada sobre una pieza de trabajo (30) fabricada de material metálico, que es una herramienta de corte, perfilado, moldeado por inyección o prensado, y en particular puede ser un inserto rotatorio, en la que esta capa está formada como un óxido eléctricamente aislante de al menos uno de los metales (Me) de los metales de transición Zr, Cr, Mo y Al, Si, Fe, Co, Ni, Y, en la que la capa funcional (32) tiene un contenido de gases nobles y de halógenos de menos del 2%.
- 10 2. La capa de material duro según la reivindicación 1, caracterizada porque la capa tiene una rugosidad media Ra de como mínimo 0,2 μm .
- 15 3. La capa de material duro según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizada porque el contenido de gas noble en la capa funcional (32) es como máximo del 0,1%, preferiblemente como máximo del 0,15%, y/o el contenido de halógeno es como máximo del 0,5%, preferiblemente como máximo del 0,1%, y preferiblemente no contiene gas noble y/o halógeno.
- 20 4. La capa de material duro según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizada porque la capa funcional (32) tiene un grosor en el intervalo de 0,5 μm a 12 μm , preferiblemente 1,0 a 5 μm .
- 25 5. La capa de material duro según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizada porque la capa funcional (32) es un óxido mixto de metal de aluminio de la forma $(\text{Al}_x\text{Me}_{1-x})_y\text{O}_z$, en la que Me es preferiblemente uno de los metales Cr, Mo, Zr, Fe, Co, Ni, Y, individualmente o en mezcla.
- 30 6. La capa de material duro según la reivindicación 5, caracterizada porque Me es el metal cromo y tiene la forma $(\text{Al}_x\text{Cr}_{1-x})_y\text{O}_z$.
- 35 7. La capa de material duro según la reivindicación 6, caracterizada porque la proporción 1-x del metal cromo en la capa constituye del 5 al 80 %At, preferiblemente 10 al 60 %At.
- 40 8. La capa de material duro según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizada porque la capa funcional (32) es una capa de óxido de aluminio estequiométrico en la forma Al_2O_3 .
- 45 9. La capa de material duro según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizada porque la capa funcional (32) forma la capa más externa o una capa de soporte adicional con al menos una capa de cobertura (35) localizada por encima de ella, tal como en particular una capa de reducción de la fricción (35).
- 50 10. La capa de material duro según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizada porque la capa funcional (32) tiene una resistencia a la temperatura mayor de 800 °C y es químicamente resistente a la oxidación.
- 55 11. Una pieza de trabajo con una capa de material duro según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizada porque la pieza de trabajo (30) es una herramienta, una pieza de una máquina, preferiblemente un inserto rotatorio.
- 60 12. La pieza de trabajo según la reivindicación 11, caracterizada porque entre la capa funcional (32) y la pieza de trabajo (30) está dispuesta una capa adicional que es una capa intermedia (31), y ésta forma en particular una capa de adhesión (31), y ésta contiene preferiblemente uno de los metales de los grupos IV, V y VI del sistema periódico y/o Al, Si, Fe, Co, Ni, Co, Y o una mezcla de los mismos.
13. La pieza de trabajo según la reivindicación 12, caracterizada porque los metales de la capa intermedia (31) son compuestos con N, C, O, B o mezclas de los mismos, en la que se prefiere el compuesto con N.
14. La pieza de trabajo según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 13, caracterizada porque el grosor de la capa intermedia (31) es de 0,05 a 5 μm , preferiblemente en el intervalo de 0,1 a 0,5 μm .
15. La pieza de trabajo según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 14, caracterizada porque al menos una de las capas, tal como en particular la capa funcional (32) y/o la capa intermedia (31), están formadas como una capa graduada (34), tal como desde una composición metálica pasando por nítrica y/o de nítrica a nitro-oxidica y hasta óxido.
16. La pieza de trabajo según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 15, caracterizada porque al menos una de las capas, tal como en particular la capa funcional (32), está formada como un sistema de capas múltiples (33) con diferente composición de materiales, en la que preferiblemente varias capas (33) se repiten con una composición alternante, y en la que el sistema de capas múltiples (33) comprende preferiblemente al menos tres capas.

17. La pieza de trabajo según la reivindicación 16, caracterizada porque los pares de secuencias de capas repetitivas del sistema de capas cambian la composición de los materiales alternativamente, tal como, preferiblemente, de un Me_1 a un óxido de Me_2 y/o de un nitruro de Me_1 a un óxido de Me_1 y/o de un nitruro de Me_1 a un óxido de Me_2 .
- 5 18. La pieza de trabajo según cualquiera de las reivindicaciones 16 ó 17, caracterizada porque el par de secuencias de capas repetitivas del sistema de capas contiene alternativamente la composición de materiales de $(Al_xCr_{1-x})_yN_z$ y $(Al_xCr_{1-x})_yO_z$, preferiblemente en una composición estequiométrica tal como $(Al_xCr_{1-x})N$ y $(Al_xCr_{1-x})_2O_3$.
- 10 19. La pieza de trabajo según cualquiera de las reivindicaciones 16 ó 17, caracterizada porque el par de secuencias de capas repetitivas del sistema de capas contiene alternativamente la composición de materiales de $(AlZr)_xN_y$ y $(AlZr)_xO_y$, preferiblemente en una composición estequiométrica como $(Al_xZr_{1-x})N$ y $(Al_xZr_{1-x})_2O_3$.
- 15 20. La pieza de trabajo según cualquiera de las reivindicaciones 16 a 19, caracterizada porque el sistema de capas múltiples (33) comprende al menos 20 capas, preferiblemente hasta 500 capas.
- 20 21. La pieza de trabajo según cualquiera de las reivindicaciones 16 a 20, caracterizada porque el grosor de una capa del sistema de capas múltiples (33) se halla en el intervalo de 0,01 a 0,5 μm , preferiblemente en el intervalo de 0,02 a 0,1 μm .
- 25 22. Un método para el revestimiento de una pieza de trabajo (3) en una planta de proceso en vacío (1) con una capa de material duro (32) depositada como una capa funcional que se forma como un óxido eléctricamente aislante de al menos uno de los metales (Me) de los metales de transición de los grupos IV, V, VI del sistema periódico y Al, Si, Fe, Co, Ni, Cu, Y, y la capa se deposita con una fuente de vaporización de arco (5), caracterizada porque la fuente de vaporización de arco (5) se hace funcionar con una alimentación eléctrica de CC (13) sobre la cual se superpone una alimentación de corriente pulsada (16, 16'), en la que el blanco (5', 20) de la fuente de vaporización de arco (5, 20) contiene uno de los metales y el blanco (5', 20) se hace funcionar en una atmósfera de oxígeno en modo reactivo de forma que se genera un óxido eléctricamente no conductor y se deposita en forma de una capa.
- 30 23. El método según la reivindicación 22, caracterizado porque se suministra tan poco gas noble y/o gas halógeno a la atmósfera de gas reactivo de la cámara de proceso de la planta de vacío (1) que la capa depositada incorpora un máximo del 0,5% de tales gases, preferiblemente ninguno de estos gases.
- 35 24. El método según cualquiera de las reivindicaciones 22 a 23, caracterizado porque se hacen funcionar dos fuentes de vaporización de arco (5, 20) alimentadas mediante CC, en el que además se hace funcionar una única alimentación de corriente pulsada (16) conectada a las dos fuentes (5, 20) para formar un montaje de vaporización de arco de pulso doble (5, 20).
- 40 25. El método según cualquiera de las reivindicaciones 22 a 24, caracterizado porque la pieza de trabajo comprende acero, una aleación que contiene hierro, cromo, cobalto, o níquel de uno o más metales, un metal duro, un material cerámico, un cermet, un boronitruro cúbico, en el que al menos se deposita una capa adicional por medio de un proceso de PVD y una de las capas es una capa de adhesión (31) que está directamente adyacente a la pieza de trabajo (30), en el que la o al menos una de las capas siguientes, la capa funcional (32), comprende Al_2O_3 o $(AlMe)_2O_3$, y Me es al menos un metal de transición de los grupos IV, V o VI del sistema periódico o silicio, y al menos el aluminio o la capa de óxido de metal de aluminio se deposita con un vaporizador de arco (5, 20) en el que el óxido de aluminio, óxido de metal u óxido de metal de aluminio se vaporiza desde al menos un blanco reactivo superficialmente (5, 20) en una atmósfera que contiene oxígeno.
- 45 26. El método según cualquiera de las reivindicaciones 22 a 25, caracterizado porque el revestimiento tiene un valor de rugosidad Ra de como mínimo 0,2 μm .
- 50 27. El método según cualquiera de las reivindicaciones 22 a 26, caracterizado porque se deposita al menos una capa adicional que es una capa de óxido exenta de aluminio que contiene uno o más óxidos de metales adicionales, y el óxido de metal contiene al menos un metal de transición de los grupos IV, V o VI del sistema periódico o silicio, preferiblemente cromo o zirconio.
- 55 28. El método según cualquiera de las reivindicaciones 25 a 27, caracterizado porque la capa de adhesión (31) contiene al menos uno de los metales de transición de los grupos IV, V o VI del sistema periódico y/o aluminio o silicio.
- 60 29. El método según cualquiera de las reivindicaciones 25 a 28, caracterizado porque la capa de adhesión (31) comprende una capa dura que contiene un nitruro, carburo o boruro de al menos uno de los metales de transición de los grupos IV, V o VI del sistema periódico y/o aluminio o silicio o una mezcla de estos compuestos.
- 65 30. El método según cualquiera de las reivindicaciones 22 a 29, caracterizado porque la capa funcional (32) se deposita como un sistema de capas de material duro que comprende varias capas (33) de un nitruro, carburo, boruro

u óxido de al menos uno de los metales de transición de los grupos IV, V o VI del sistema periódico y/o aluminio o silicio, o una mezcla de estos compuestos, en el que al menos las capas sucesivas directamente difieren por la estequiometría del contenido de elemento metálico o no metálico.

- 5 31. El método según la reivindicación 30, caracterizado porque el sistema de capas de material duro (32) se deposita con una o más capas (33) que contienen óxido de aluminio-cromo.
- 10 32. El método según cualquiera de las reivindicaciones 30 a 31, caracterizado porque las transiciones entre las capas individuales (33) del sistema de capas de material duro (32), con respecto a la estequiometría de su contenido de elementos metálicos o no metálicos, se incrementa o se reduce gradualmente o por etapas.
- 15 33. El método según cualquiera de las reivindicaciones 30 a 32, caracterizado porque el revestimiento de las capas individuales del sistema de capas de material duro (32) se deposita con un grosor entre 0,01 y 0,5 μm , preferiblemente 0,02 y 0,1 μm .
- 20 34. El método según cualquiera de las reivindicaciones 31 a 33, caracterizado porque las capas que contienen nitruro, carburo o boruro se depositan alternativamente con capas que contienen óxido de aluminio-cromo.
- 25 35. El método según cualquiera de las reivindicaciones 25 a 34, caracterizado porque al menos una transición de la capa de adhesión (31) a la capa que contiene óxido de aluminio o al sistema de capas de material duro (32), o del sistema de capas de material duro (32) o la capa que contiene óxido de aluminio a la capa de cobertura (35), con respecto a la estequiometría de su contenido de elementos metálicos o no metálicos, se incrementa o se reduce gradualmente o por etapas.
- 30 36. El método según cualquiera de las reivindicaciones 22 a 35, caracterizado porque la capa que contiene óxido de aluminio se deposita como $(\text{Al}_{1-x}\text{Cr}_x)_2\text{O}_3$, en el que $0,05 < x < 0,80$, preferiblemente $0,01 < x < 0,60$.
37. El método según cualquiera de las reivindicaciones 22 a 36, caracterizado porque como pieza de trabajo (30) se reviste una herramienta, en particular una herramienta de corte, perfilado o moldeado por inyección.
38. El método según cualquiera de las reivindicaciones 22 a 37, caracterizado porque como pieza de trabajo (30) se reviste un componente, en particular un componente para un motor de combustión o una turbina.

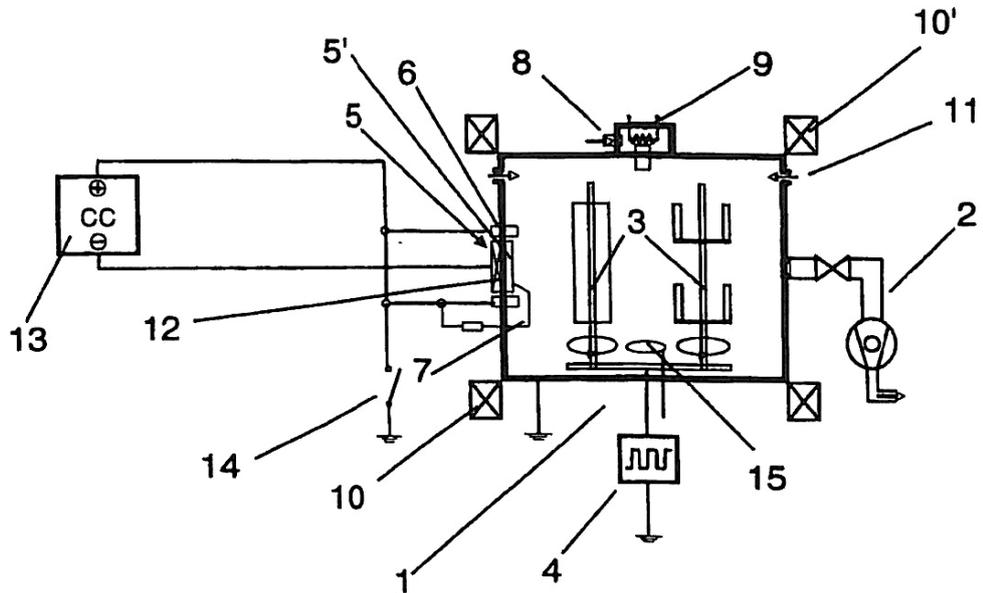


Fig.1

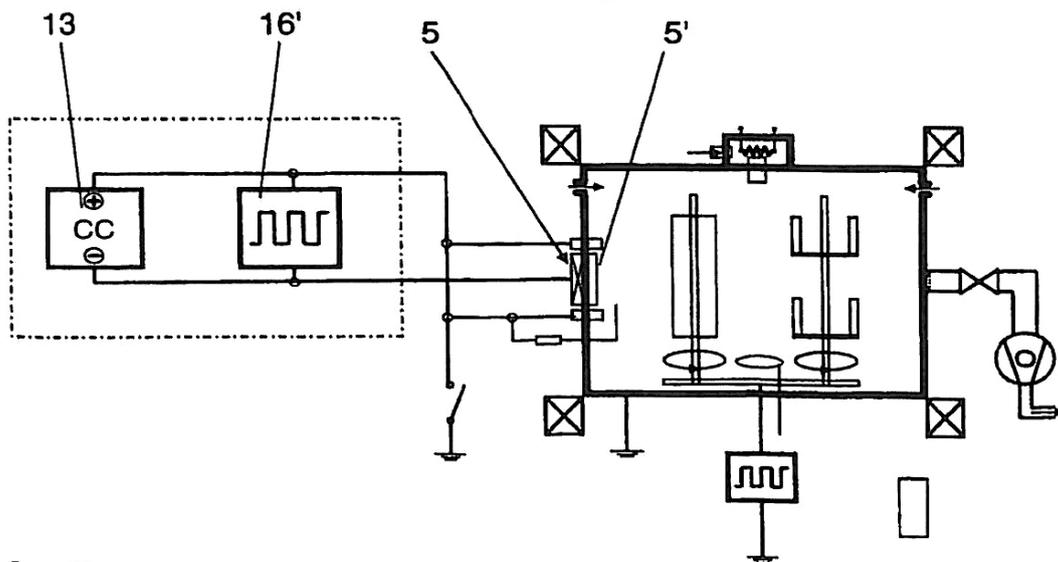


Fig.2

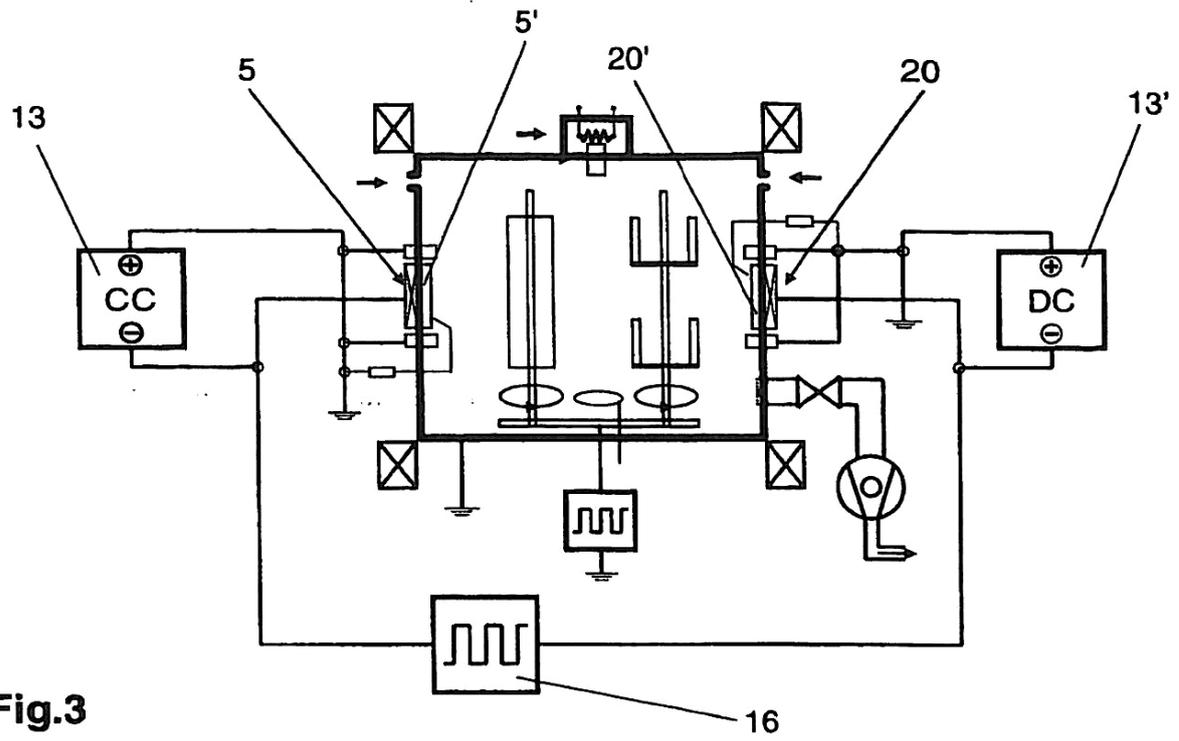


Fig.3

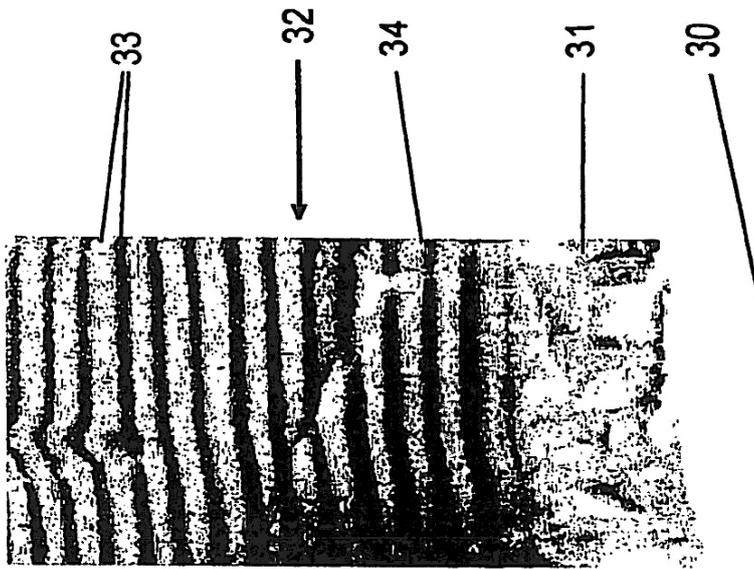


Fig.5

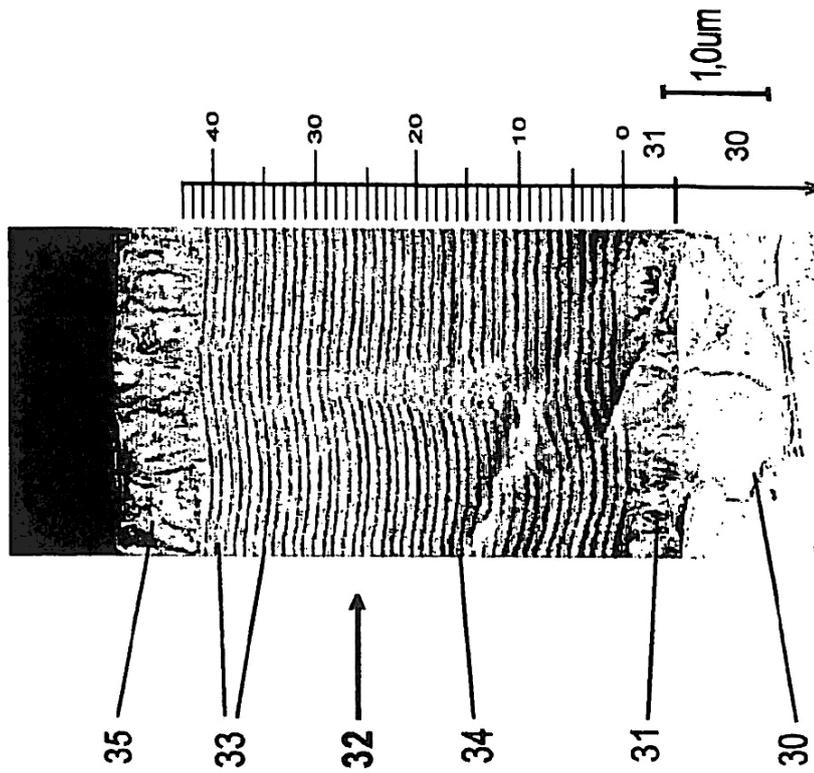


Fig.4