

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 391 362**

51 Int. Cl.:
C23C 26/00 (2006.01)
C23C 24/02 (2006.01)
C23C 24/06 (2006.01)
B24B 1/00 (2006.01)
B24B 33/08 (2006.01)
F02F 1/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **08857238 .3**
96 Fecha de presentación: **05.12.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **2229467**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **22.09.2010**

54 Título: **Fabricación de elementos de baja fricción**

30 Prioridad:
07.12.2007 SE 0702751

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
23.11.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
23.11.2012

73 Titular/es:
APPLIED NANO SURFACES SWEDEN AB
(100.0%)
P O HALLMANS G-17
112 69 STOCKHOLM, SE

72 Inventor/es:
STAVLID, NILS

74 Agente/Representante:
ARIAS SANZ, Juan

ES 2 391 362 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

Fabricación de elementos de baja fricción

La presente invención se refiere en general a la fabricación de elementos de baja fricción, a herramientas para la misma y a elementos obtenidos mediante la misma.

5 **Antecedentes**

10 En motores de combustión interna, es común dejar que el proceso de combustión tenga lugar dentro de un cilindro mediante lo cual se fuerza un pistón a que se mueva en relación con el cilindro. El movimiento relativo tiene que experimentar una baja fricción con el fin de no desperdiciar la energía liberada por el proceso de combustión y, particularmente, no transferir la energía liberada en calor en el pistón y el cilindro. Además, la relación física entre el pistón y el cilindro tiene que ser de manera que se reduzca a un mínimo cualquier escape de gases de combustión.

15 Para este fin, la superficie interior del cilindro se trata cuidadosamente, para alcanzar una rugosidad de superficie final normalmente en el intervalo de $S_a = 0,15-0,50 \mu\text{m}$. Un procedimiento de tratamiento de superficie de este tipo se realiza normalmente en varias etapas; perforación, rectificado preliminar, rectificado fino, rectificado en mesetas y, posiblemente, rodaje del cilindro contra el anillo de pistón de acoplamiento. El perfil de superficie resultante a menudo consiste en un estilete con forma de meseta con cumbres y valles planos disponibles para contener lubricante, es decir, depósitos de lubricante.

20 Durante el funcionamiento del pistón y el cilindro, se añade habitualmente un lubricante. La rugosidad que queda en las paredes del cilindro puede contener pequeños volúmenes de lubricantes, que proporcionan una película entre el cilindro y el pistón, dando lugar a coeficientes de fricción relativamente bajos, es decir lubricación en película completa. Sin embargo, cuando la velocidad de deslizamiento se aproxima a cero en los puntos de giro del pistón, no se cumplen los requisitos de lubricación en película completa. En este régimen, denominado lubricación periférica, el coeficiente de fricción se determina por las propiedades de corte de los dos sólidos en contacto: el material del anillo de pistón y el material de la pared del cilindro.

25 El lubricante tradicional se basa en un producto de petróleo. Cuando entra en contacto con el entorno caliente del cilindro, también se descompondrá parte del lubricante. Puesto que los lubricantes a menudo comprenden elementos no muy respetuosos con el medio ambiente, una descomposición de este tipo de los lubricantes puede dar lugar a gases de combustión peligrosos. Por tanto, existe la necesidad de reducir tal adición de lubricantes peligrosos por motivos medioambientales. Mantener una buena lubricidad entre el anillo de pistón y el cilindro será no obstante difícil sin tales aditivos de lubricante.

30 También se han usado sustancias lubricantes alternativas, tales como lubricantes sólidos. Se sabe por ejemplo que el grafito, MoS_2 y WS_2 muestran propiedades de baja fricción. En el documento WO95/02023, se proporciona una pared de diámetro interior de cilindro de un motor con un polvo pulverizable térmicamente que comprende un núcleo de al menos grafito y MoS_2 encapsulado en una cubierta metálica delgada de un metal blando tal como por ejemplo Ni o Sn. El recubrimiento también proporciona una porosidad en la que pueden quedar retenidos lubricantes oleosos. En la traducción inglesa del resumen del documento CN1332270, se da a conocer un método en el que se proporcionan superficies de baja fricción mediante electrodeposición o deposición química en líquidos de deposición que contienen MoS_2 o WS_2 . En el documento GB 847,800, se proporcionan recubrimientos de sulfuro metálico mediante la descomposición térmica de polímeros que contienen por ejemplo W y S.

40 Las superficies curvadas y, en particular, las paredes interiores del cilindro, suponen un reto particular para el tratamiento de superficie. Los recubrimientos de superficie basados en pulverización, electrodeposición, descomposición térmica, PVD, CVD, etc. son difíciles de proporcionar de manera lisa, uniforme y controlable sobre toda la superficie. El motivo es principalmente geométrico, puesto que los suministros de equipo o sustancia tienen que realizarse en el volumen normalmente limitado dentro del cilindro y también se someten a posibles efectos de pantalla. Tienen que proporcionarse herramientas de fabricación y etapas de procedimiento de fabricación completamente nuevos, lo que hace que los costes de producción sean muy altos.

45 Además, las capas de lubricante sólido proporcionadas mediante los métodos de la técnica anterior tienen diferentes tipos de inconvenientes inherentes. En los casos en los que se utilizan polvos en cubiertas metálicas blandas, las propiedades lubricantes del núcleo resultan parcialmente anuladas por el metal blando. Además, la sustancia de lubricante del núcleo se proporciona en una dirección de cristal arbitraria presentando de ese modo tanto superficies de baja fricción como superficies con una cierta fricción superior. En el caso de la electrodeposición o la descomposición térmica, la adhesión de la capa de superficie a la pared del cilindro es difícil de controlar, así como cualquier dirección de crecimiento de cristal. Además, tienen que proporcionarse entornos de reacción adaptados.

Sumario

55 Un objeto de la presente invención es proporcionar un método para la fabricación mejorada de elementos que tengan una superficie de baja fricción. Un objeto adicional de la presente invención es proporcionar métodos tales que sean fáciles y económicos de realizar. También es un objeto de la presente invención proporcionar elementos

que tengan superficies de baja fricción según tal método de fabricación y herramientas de fabricación para llevar a cabo tal método de fabricación.

5 Los objetos anteriores se logran mediante métodos, dispositivos y disposiciones según las reivindicaciones de patente adjuntas. En términos general, en un primer aspecto, un método de fabricación de elemento mecánicos comprende proporcionar un elemento mecánico que tiene una superficie que va a recubrirse. Preferiblemente, una rugosidad de superficie es superior a $S_a = 0,1 \mu\text{m}$, donde S_a se define como la rugosidad media aritmética tridimensional, también conocida como rugosidad media de línea central. El método se caracteriza por depositar de manera triboquímica sustancia de lubricante sólido directamente sobre la superficie que va a recubrirse. La deposición triboquímica se realiza en cada punto de al menos una parte de la superficie que va a recubrirse en al menos dos direcciones transversales a lo largo de dicha superficie que va a recubrirse.

10 En un segundo aspecto, un elemento mecánico tiene una superficie de baja fricción con una capa de superficie de una sustancia de lubricante sólido depositada de manera triboquímica, depositada en cada punto de al menos una parte de la superficie en al menos dos direcciones transversales a lo largo de la superficie.

15 En un tercer aspecto, una herramienta de fabricación para el tratamiento de superficie de elementos mecánicos comprende una parte de soporte, al menos una superficie de trabajo de herramienta, medios para proporcionar una fuerza que presiona la superficie de trabajo de herramienta hacia una superficie que va a recubrirse y medios de accionamiento para mover la superficie de trabajo de herramienta en al menos dos direcciones transversales a lo largo de la superficie curvada en cada punto de al menos una parte de la superficie. La superficie de trabajo de herramienta es una superficie de trabajo de herramienta de deposición triboquímica que comprende un óxido, carburo y/o silicio que comprenden Mo y/o W.

20 Una ventaja de la presente invención es que es posible lograr una superficie de elemento extremadamente lisa con superficie con un coeficiente de fricción bajo mediante incluso menos etapas de tratamiento de superficie que los enfoques normales de la técnica anterior. Esto se debe al hecho de que la deposición triboquímica actúa simultáneamente sobre los parámetros de rugosidad de superficie en dos vertientes reduciendo tanto los picos de superficie como los valles inferiores en varias direcciones. La deposición triboquímica en al menos dos direcciones transversales en cada punto garantiza una capa de superficie uniforme. Además, se proporciona una capa de superficie relativamente gruesa con buenas propiedades de adhesión al material principal del cilindro cuando la deposición se realiza sobre una superficie original relativamente rugosa. Una direccionalidad inherente de un procedimiento de reacción triboquímica para la dirección paralela de las direcciones de deslizamiento garantiza además que el lubricante sólido tiene planos de cristal de baja fricción orientados en paralelo a la superficie y que pueden controlarse para dirigirse en una dirección de movimiento relativamente intencional.

Breve descripción de los dibujos

La invención, junto con objetos y ventajas adicionales de la misma, puede entenderse mejor haciendo referencia a la siguiente descripción tomada conjuntamente con los dibujos adjuntos, en los que:

35 la figura 1 es una ilustración esquemática de deposición triboquímica;

la figura 2 es una ilustración esquemática de un procedimiento de fabricación de cilindro de motor de la técnica anterior;

la figura 3 es una ilustración esquemática de una realización de un procedimiento de fabricación de cilindro de motor según la presente invención;

40 la figura 4 es una ilustración esquemática de una realización de una herramienta según la presente invención que interacciona con una superficie;

la figura 5 es un diagrama de flujo de las etapas de una realización de un método de fabricación según la presente invención;

la figura 6 es una ilustración esquemática de una realización de un elemento mecánico según la presente invención;

45 las figuras 7A-B son ilustraciones de realizaciones de herramientas según la presente invención;

la figura 8 ilustra una realización de un aparato para fabricar un elemento mecánico que tiene una superficie curvada;

las figuras 9A-D son realizaciones de superficies de trabajo de herramienta; y

las figuras 10A-B ilustran el significado de las direcciones transversales.

50 Descripción detallada

A lo largo de las presentes descripciones, las características iguales o directamente correspondientes en las

diferentes figuras y realizaciones se indicarán mediante los mismos números de referencia.

En la presente descripción, se usa el término "transversal". A lo largo de la presente descripción, se define el significado propuesto de movimiento en dos direcciones transversales en o a lo largo de una superficie mediante dos movimientos no paralelos que se cortan en un punto sobre la superficie. La figura 10A ilustra dos ejemplos de movimiento que se considera que son movimientos no transversales. La figura 10B en cambio ilustra tres ejemplos no exclusivos de movimientos transversales. En estos ejemplos, hay al menos un punto en la superficie en cuestión que pasa en dos direcciones no paralelas.

Según la presente invención, se dota a una superficie de un lubricante sólido por medio de deposición triboquímica directamente sobre una superficie que va a recubrirse, de manera preferible relativamente rugosa. La deposición triboquímica es tal como se conoce bien en el campo de la fricción y el desgaste. La formación de compuestos que tienen una composición similar a WS_2 se observa por ejemplo en el sumario exhaustivo de la tesis doctoral de Nils Stavlid, "On the Formation of Low-Friction Tribofilms in Me-DLC - Steel Sliding Contacts", Universidad de Uppsala 2006, ISBN 91-554-6743-1.

En la figura 1, se describe un sistema modelo. Se dota a una superficie de trabajo 12 de una herramienta 10 de carburo de tungsteno 14. La herramienta 10 se presiona mediante una fuerza 16 contra una superficie de sustrato 20 que va a tratarse. Al mismo tiempo, la herramienta 10 se mueve con una velocidad 18 sobre la superficie de sustrato 20. En el área de contacto entre la superficie de trabajo 12 y la superficie de sustrato 20, se crea una tribopelícula 22 sobre la superficie de sustrato 20. En otras palabras, se forma una tribopelícula 22 mediante deposición triboquímica. Las tribopelículas a menudo también se denominan películas de transferencia de desgaste, capas de reacción, etc.

Tener dos superficies en contacto y en movimiento relativo produce un efecto de frotamiento sobre las superficies. En el punto de contacto, se produce una tensión local extrema y un aumento de la temperatura local, lo que facilita rutas de reacción química diferentes para la formación de la tribopelícula. Cuando las dos superficies son de diferente composición, es decir el contacto es heterogéneo, las rutas de reacción a menudo son difíciles de predecir. Las tribopelículas resultantes pueden obtener a veces por tanto composiciones químicas que no pueden obtenerse fácilmente mediante otros procedimientos.

En el sistema modelo de la figura 1, la superficie de sustrato 20 es una superficie que contiene hierro, por ejemplo una superficie de acero, lo que significa que están presentes partículas o átomos de hierro 24 en la superficie de sustrato 20. Además, se proporciona un fluido de proceso 30 que comprende azufre 32 en forma libre en o en las proximidades de un área de contacto 8. Las posibles reacciones químicas pueden comprender elementos procedentes de la superficie de trabajo 12 de la herramienta, procedentes de la superficie de sustrato 20 y/o procedentes del fluido de proceso 30. En el presente sistema modelo, se ha verificado que se forma una tribopelícula 22 que comprende sustancias que son o que son similares a WS_2 26, es decir un material del lubricante sólido. Además, el material de la superficie de sustrato también contribuye a la reacción química que forma una segunda fase 28, que comprende sustancias similares a FeS , puesto que el Fe puede formar sulfuros estables. La tribopelícula 22 formada en el sistema modelo tiene por tanto el lubricante sólido 26 disperso en un material compuesto, en el que la segunda fase 28 proviene del material del sustrato. Esta segunda fase 28 actúa como aglutinante para el lubricante sólido 26 sobre la superficie de sustrato 20.

Aun cuando WC se considera normalmente un material muy duro y no se esperaría que se desgastase, puede establecerse que una película que contiene WS_2 se forma por deposición triboquímica mediante una transferencia selectiva de W desde la superficie de trabajo que contiene W 12 a la superficie de sustrato 20 y una reacción química adicional con azufre procedente del fluido de proceso 30. La fuerza de presión 16 es por tanto suficiente para generar una deformación del material lo que conduce a una reacción química entre el tungsteno, el azufre y la superficie de sustrato. La tribopelícula 22 prácticamente no comprende carbono pese al alto contenido en carbono en la superficie de trabajo 12 así como en el fluido de proceso 30.

La tribopelícula 22 formada rellena esencialmente todos los huecos e irregularidades originalmente presentes sobre la superficie de sustrato 20. El WS_2 se une normalmente al material del sustrato mediante uniones de metal-azufre (tal como en el sulfuro de hierro, FeS). La superficie obtenida de la tribopelícula 22 se vuelve de hecho muy lisa, y se cree que es posible que se produzca una disminución de la rugosidad hasta por debajo de 10 nm en un futuro próximo. La obtención de lisura opera mediante dos mecanismos. En primer lugar, se cortan los bordes sobresalientes de la superficie de sustrato mediante la acción física de la herramienta. En segundo lugar, la tribopelícula 22 formada rellena los valles restantes. La uniformidad y la eficacia de formación de una tribopelícula 22 de este tipo mejora enormemente si la deposición se realiza en más de una dirección transversal, puesto que los bordes y los valles resultan afectados entonces de manera complementaria. Además, el uso de más de una dirección transversal en el contacto por deslizamiento conduce a una tendencia reducida de formación de vacíos en la superficie de contacto, conduciendo esto a su vez a una adhesión de recubrimiento mejorada.

El grosor de la tribopelícula 22 depende significativamente de la rugosidad original de la superficie de sustrato 20. Puede lograrse una tribopelícula 22 más gruesa a partir de una superficie rugosa que a partir de una superficie lisa. Además, se ha concluido que la unión al sustrato es más fuerte para una tribopelícula formada sobre una superficie

rugosa que sobre una superficie lisa. La rugosidad final de la tribopelícula formada es, sin embargo, prácticamente independiente de la rugosidad de la superficie de sustrato original.

5 En aplicaciones, cuando se solicita un lubricante sólido en una superficie como agente reductor de fricción en operaciones mecánicas de contacto de fricción, se solicita un recubrimiento de superficie relativamente grueso y fuerte. Sorprendentemente, según los hallazgos en la presente invención, tales superficies se obtienen de manera más fácil directamente sobre superficie bastante rugosas que sobre superficies más lisas. Al mismo tiempo, la rugosidad final del recubrimiento de superficie final apenas difería en nada en comparación con muestras que tienen diferentes rugosidades de superficie originales. Esto significa que la deposición triboquímica de lubricantes sólidos no sólo es posible sobre superficies relativamente rugosas, pero se prefiere todavía. De ese modo, se ha encontrado que con el fin de proporcionar una buena superficie de lubricante sólido, la rugosidad de superficie media original (S_a) debe ser mayor de $0,1 \mu\text{m}$, preferiblemente mayor de $0,5 \mu\text{m}$, más preferiblemente mayor de $1 \mu\text{m}$ e incluso más preferiblemente mayor de $2 \mu\text{m}$.

15 La rugosidad de superficie media puede definirse de diferentes maneras. Sin embargo, en la presente descripción, los valores numéricos de la rugosidad de superficie se definen por el valor de S_a tridimensional obtenido que es la rugosidad media aritmética, también conocida como la rugosidad media de línea central.

20 Esta característica sorprendente de la deposición triboquímica puede utilizarse ventajosamente para producir superficies de baja fricción en diferentes elementos mecánicos. El enfoque es particularmente útil para preparar superficies curvadas de baja fricción debido a los problemas inherentes con otros procedimientos de fabricación alternativos que son incompatibles con las superficie curvadas. Sin embargo, también es posible la fabricación de superficies planas. Se cree que las principales ventajas aparecen cuando las superficies curvadas son superficies interiores, por ejemplo una superficie interior de un cojinete cilíndrico o la pared interior de un diámetro interior de cilindro. Tales diámetros interiores pueden ser por ejemplo cilindros de un motor de combustión interna o cilindros de un elemento hidráulico. Sin embargo, la presente invención también puede aplicarse a superficies convexas exteriores, tales como por ejemplo superficies de árbol o pistón. Se prefieren las superficies rotacionalmente simétricas puesto que los movimientos a lo largo de las superficies rotacionalmente simétricas son relativamente fáciles de lograr.

En la siguiente descripción detallada, se usa un cilindro de un elemento de motor como elemento mecánico de modelo.

30 En la figura 2, se ilustra esquemáticamente un procedimiento de fabricación típico de la técnica anterior de un cilindro de un motor de combustión interna. Se proporciona un diámetro interior de cilindro 40 en un elemento mecánico 41, en este ejemplo un elemento de motor 42. Una superficie curvada 43, que tiene una geometría rotacionalmente simétrica, en este ejemplo una superficie interior 44 del diámetro interior de cilindro 40 normalmente tiene una superficie rugosa. Se realiza un rectificado preliminar usando, por ejemplo, una piedra de diamante, que proporciona el diámetro interior de cilindro 40 exactamente con las dimensiones correctas. Al mismo tiempo, la superficie interior se muele hasta una rugosidad de superficie más fina. La rugosidad de superficie es todavía demasiado grande para aplicaciones de la técnica anterior, y se realiza un procedimiento de rectificado fino. Se usa una piedra para pulir para crear un acabado en mesetas. Normalmente, se usa una muela abrasiva de rectificar de diamante o carburo de silicio. La última etapa en esta realización de un procedimiento de la técnica anterior es dejar que el motor funcione para eliminar los últimos desechos y alisar la superficie adicionalmente. Esta parte es a menudo la más complicada, puesto que al menos una parte del procedimiento tiene lugar normalmente tras por ejemplo la entrega de un vehículo. Si las condiciones de funcionamiento son desfavorables, este procedimiento de rodaje produce una superficie del diámetro interior de cilindro que dista mucho de ser ideal. La etapa de rodaje también puede omitirse.

45 La figura 3 ilustra un procedimiento de fabricación correspondiente según la presente invención. La etapa de perforación permanece básicamente sin cambios. La etapa de rectificado preliminar puede estar presente, pero no es totalmente necesaria. Si la perforación es lo suficientemente precisa como para dotar al diámetro interior de cilindro de las dimensiones finales exactas, incluso puede omitirse el rectificado preliminar. Las etapas de rectificado fino y rodaje también se omiten. En cambio, se realiza una etapa de deposición triboquímica en al menos dos direcciones transversales. De ese modo, se forma una capa de lubricante sólido directamente sobre la superficie rugosa, dando una superficie de baja fricción así como una rugosidad muy pequeña. Se estima que un valor típico de la rugosidad de superficie lograda mediante una aplicación industrial de la deposición es del orden de menos de $0,1 \mu\text{m}$. Para una película robusta, la rugosidad final de superficie es preferiblemente menor de $2/3$ de una rugosidad de superficie de una superficie de sustrato original, es decir la superficie sobre la que se realiza la deposición triboquímica. A partir de una comparación entre las figuras 2 y 3, puede observarse inmediatamente que la presente invención posibilita eliminar completamente al menos dos etapas en el procedimiento de fabricación y sustituirlas por una única etapa que produce un recubrimiento de superficie de baja fricción así como una baja rugosidad de superficie. Esta nueva etapa puede realizarse además sin modificaciones demasiado grandes del equipo de fabricación tradicional, lo que significa que la presente invención es bastante barata de implementar también en las líneas de fabricación existentes.

60 En vista del comentario anterior, un cilindro de un motor de combustión interna que tiene superficies según la

presente invención experimenta una fricción inferior que un cilindro convencional. Las pruebas han mostrado que normalmente se pierde el 6% de la energía total suministrada a un motor de combustión interna debido a la fricción a partir del contacto del anillo de pistón y el revestimiento de cilindro. Otras pruebas, realizadas en superficies fabricadas según la presente invención, muestran que pueden reducirse los niveles de fricción periférica en hasta el 60%. Una reducción de este tipo permitirá, por tanto, una mejora de la eficacia total del 1,8 al 3%, reduciendo la necesidad de combustible. Se han hecho estimaciones de que durante la vida útil de un cilindro, el ahorro de combustible puede corresponder al 5-10% de un coste de producción total de un vehículo completo.

Beneficios similares aparecerán también cuando se aplica el método de fabricación a otros elementos mecánicos que tienen superficies curvadas que se requiere que presenten baja fricción.

La operación de deposición triboquímica tal como se obtiene mediante una herramienta según la presente invención que interacciona con una superficie se ilustra esquemáticamente en la figura 4. Una herramienta 10 que tiene una superficie de trabajo 12, en esta realización proporcionada como capa de superficie 13 prevista alrededor de un núcleo de herramienta circular 15, se presiona 16 contra y se mueve 18 con respecto a una superficie de sustrato 20. La superficie de sustrato 20 antes del tratamiento tiene una rugosidad de superficie de al menos $0,1 \mu\text{m}$ y preferiblemente de al menos $0,5 \mu\text{m}$. Se proporciona un fluido de proceso 30 que comprende azufre en el entorno de contacto. El resultado es una tribopelícula lisa 22, que comprende un lubricante sólido.

Cuando se usan métodos de la técnica anterior para recubrir una superficie mediante por ejemplo sustancias que contienen WS_2 , los planos de cristal del lubricante sólido se dirigirán de manera esencialmente aleatoria. Sin embargo, al formarse tribopelículas que comprenden lubricantes sólidos, el proceso triboquímico real introduce preferencias en las direcciones del plano de cristal. Afortunadamente, el proceso triboquímico favorece que los planos de cristal de lubricante sólido se dirijan esencialmente paralelos a la superficie. Esto a su vez significa que por ejemplo los planos de azufre-azufre fácilmente cortados en el cristal de WS_2 son paralelos a la superficie, lo que produce una fricción significativamente reducida incluso en comparación con WS_2 orientado de manera aleatoria. Una superficie recubierta con WS_2 aplicada mediante deposición triboquímica muestra por tanto una fricción inferior que una superficie recubierta con WS_2 aplicada de otras formas.

El contacto por deslizamiento en el proceso triboquímico produce el desgaste de los picos de la superficie de sustrato. En otras palabras, partes de los "picos" de las superficies rugosas se erosionarán y ayudarán en el relleno de los "valles" junto con material procedente de la superficie de trabajo. Tal como se mencionó adicionalmente antes, se obtiene un tratamiento más eficaz si este desgaste también se dirige en más de una dirección en cada punto de al menos una parte de una superficie que va a tratarse. La formación de la película se hace más uniforme y da como resultado una capa de superficie más densa con adhesión mejorada. En una vista general, es más eficaz un movimiento de la herramienta a lo largo de la superficie de sustrato en al menos dos direcciones diferentes que son transversales entre sí, es decir no paralelas entre sí.

Se han realizado pruebas empíricas, comparando superficies recubiertas con WS_2 aplicado mediante deposición triboquímica en sólo una dirección y superficies recubiertas con WS_2 aplicado mediante deposición triboquímica en direcciones transversales. Los resultados muestran que las superficies recubiertas en direcciones transversales presentan una superficie más lisa y una capa más gruesa de WS_2 depositado. El coeficiente de fricción también es generalmente inferior en las superficies recubiertas en direcciones transversales. Se cree que la fricción inferior es el resultado de la superficie más lisa, así como de la mejor cobertura de tribopelícula.

El tratamiento de superficie en más de una dirección también disminuye el riesgo de transferir geometrías no perfectas de la superficie de trabajo que tengan un impacto de deterioro significativo sobre la estructura de superficie final de la película depositada. Por ejemplo, si se cubre una superficie de cilindro circular, las ranuras que se texturizan en la dirección axial pura así como en la tangencial pura sólo están produciendo desventajas. Lo mismo ocurre para las ranuras que tienen una forma espiral pura. Sin embargo, al tener las superficies recubiertas en direcciones transversales, cualquier geometría no perfecta de la superficie de trabajo dará lugar a imperfecciones también distribuidas en direcciones transversales. Tales patrones pueden ayudar en la distribución de, por ejemplo, lubricantes fluidos adicionales durante el uso posterior.

Sin embargo, la dirección relativa de movimiento entre la superficie de sustrato y la herramienta también influirá en las direcciones del cristal. La dirección, en la que se ha movido la herramienta, en el caso de un movimiento unidimensional, mostrará generalmente un coeficiente de fricción algo inferior que en una dirección perpendicular a la misma. En los casos en que se sabe que la superficie está expuesta para mover objetos a lo largo de sustancialmente una dirección, se prefiere por tanto tener una dirección de trabajo principal de la herramienta en la misma dirección, mientras que una dirección de trabajo secundaria ayuda a mejorar la calidad de la tribopelícula. Se sabe que un árbol que gira dentro de un cojinete tiene un movimiento relativo esencialmente tangencial. En tal caso es preferible tener la mayoría del trabajo de las superficies de contacto en una dirección tangencial, es decir a lo largo de la circunferencia del árbol y/o el cojinete, y una parte más pequeña transversal a la misma. Sin embargo, en un cilindro, se desea que un pistón se mueva esencialmente de manera axial con respecto al cilindro. En tal caso, la mayoría del trabajo de la superficie de contacto se realiza preferiblemente en una dirección axial, y una parte más pequeña no paralela a la misma.

La figura 5 ilustra un diagrama de flujo de las etapas de una realización de un método de fabricación según la presente invención. El método de fabricación comienza en la etapa 200. En la etapa 210, se dota a un elemento mecánico de una superficie que va a recubrirse. La superficie puede ser curvada, de manera preferible rotacionalmente simétrica, por ejemplo una superficie de diámetro interior de cilindro. En un caso típico, un diámetro interior de cilindro de este tipo puede ser un diámetro interior de cilindro de un motor de combustión interna, una superficie interior de turbina, un diámetro interior de cilindro hidráulico o una superficie de cilindro de apoyo deslizante. También puede ser la superficie exterior de, por ejemplo, un árbol o un pistón. En la etapa 212, la superficie que va a recubrirse se muele de manera preliminar, dando a la superficie las dimensiones solicitadas. Se prefiere una rugosidad de superficie de más de $S_a=0,1 \mu\text{m}$ y son incluso más preferidas superficies incluso más rugosas de hasta al menos el intervalo de 2-3 μm debido a la durabilidad aumentada del recubrimiento más grueso. La etapa 212 puede omitirse si, por ejemplo, la etapa 210 proporciona directamente las dimensiones finales solicitadas y una rugosidad adecuada. En la etapa 214, se deposita de manera triboquímica una sustancia de lubricante sólido directamente sobre la superficie en al menos dos direcciones transversales. La deposición triboquímica se proporciona preferiblemente presionando y deslizado una superficie de trabajo de herramienta de deposición triboquímica contra la superficie, produciendo la deformación en una zona de contacto entre la superficie de trabajo de herramienta de deposición triboquímica y la superficie que va a recubrirse. Esto produce una transferencia de desgaste de material desde la superficie de trabajo de herramienta de deposición triboquímica a la superficie que va a recubrirse, proporcionando una superficie de elemento mecánico lisa, incluso muy por debajo de $0,1 \mu\text{m}$. En el caso de un cilindro, el deslizamiento se realiza preferiblemente tanto en una dirección axial como en una circunferencial del diámetro interior de cilindro. Mediante el uso de una relación adecuada entre el movimiento axial y el circunferencial de la herramienta, puede garantizarse que el recubrimiento producido es denso y posee una buena adhesión, así como un bajo coeficiente de fricción, tal como se comentó adicionalmente antes. La etapa 214 también comprende preferiblemente suministrar azufre a la zona de contacto durante la acción de presión y deslizamiento, mediante lo cual el azufre reacciona con el material que se transfiere por desgaste al cilindro. En la etapa 216, puede realizarse cualquier tratamiento posterior solicitado de la superficie recubierta, por ejemplo un diámetro interior de cilindro, tal como métodos de texturización de superficie o tratamientos con calor. En una versión básica del método, sin embargo, puede omitirse la etapa 216. El procedimiento finaliza en la etapa 299.

En los ejemplos anteriores, se ha usado WS_2 como lubricante sólido modelo ya que comprende una estructura de cristal en capas que se corta fácilmente. Sin embargo, hay también otros candidatos de lubricantes sólidos que pueden usarse. Pueden formarse disulfuros de metal en capa estables similares a WS_2 mediante metales tales como Ti, Nb, Mo y Sn. Sin embargo, debido a la posibilidad perdida de formar otros sulfuros con una razón de metal superior, preferiblemente W y Mo son de particular interés.

En la figura 6, se ilustra esquemáticamente una realización de un elemento mecánico 41 fabricado mediante el método de la figura 5. Se proporciona una estructura, en esta realización un diámetro interior de cilindro 40, en un elemento mecánico 41, en esta realización un elemento de motor 42, que da lugar a una superficie curvada 43, en esta realización una superficie interior 44. El elemento de motor 42 tiene una capa 22 de una sustancia de lubricante sólido depositada de manera triboquímica. Puesto que la rugosidad de superficie original era de más de $0,1 \mu\text{m}$, el grosor de la capa de superficie 22 supera normalmente $0,1 \mu\text{m}$ y la rugosidad de superficie final llega a estar muy por debajo de $0,1 \mu\text{m}$.

En la figura 7A, se ilustra una realización de una herramienta 10 para fabricar un elemento mecánico que tiene una superficie curvada. En esta realización, se pretende que la herramienta 10 procese superficies de cilindro interiores. La herramienta 10 comprende una parte de soporte 50, formada esencialmente por un cuerpo cilíndrico 52 que presenta varias rendijas dirigidas axialmente 54 distribuidas alrededor de la circunferencia del cuerpo cilíndrico 52. El cuerpo cilíndrico se proporciona en un árbol 56. Un portaherramientas 58, dotado de una superficie de trabajo de herramienta 12, está dispuesto en cada rendija 54. (Se ha retirado un portaherramientas en la figura con el fin de aumentar la visibilidad de la rendija frontal). Se proporciona un elemento elástico 59 en las rendijas 54 dentro del portaherramientas. El elemento elástico 59 funciona como medios 60 para proporcionar una fuerza que presiona la superficie de trabajo de herramienta 12 hacia el exterior. Puesto que se pretende que toda herramienta de esta realización se introduzca en un orificio cilíndrico para la deposición triboquímica de la superficie cilíndrica interior, la superficie de trabajo de herramienta 12 se presiona hacia esa superficie curvada. El elemento elástico 59 podría ser, por ejemplo, un haz continuo de material elástico o una disposición de resortes. Alternativamente, los medios para proporcionar una fuerza que presiona la superficie de trabajo de herramienta 12 hacia la superficie curvada podrían ser medios activos, por ejemplo una disposición mecánica que de manera controlada proporciona una fuerza de presión adecuada, como gases comprimidos o fluidos hidráulicos.

La herramienta 10 comprende además medios de accionamiento 61, que en esta realización funcionan sobre el árbol 56. Los medios de accionamiento 61 se disponen para mover las superficies de trabajo de herramienta en dos direcciones diferentes a lo largo de la superficie curvada. En esta realización, destinados a las superficies cilíndricas interiores, los medios de accionamiento 61 hacen girar el árbol 56 y también lo trasladan en una dirección axial. Para las herramientas que tratan superficies cilíndricas interiores, es una ventaja tener más de una superficie de trabajo presente. En la presente realización, se proporcionan cuatro superficies de trabajo 12. En la presente realización, se pretende que las cuatro superficies de trabajo 12 sean superficies de trabajo según la descripción anterior. Sin embargo, una o varias de las superficies de trabajo podrían intercambiarse con superficies de trabajo puramente

mecánicas, contribuyendo sólo con una operación de aplanado general, como complementarias a las superficies de trabajo triboquímicas.

En la figura 7B, se ilustra otra realización de una herramienta 10 para fabricar un elemento mecánico que tiene una superficie curvada. En esta herramienta, sólo está presente una superficie de trabajo triboquímica 12. La superficie de trabajo 12 recubre la superficie cilíndrica de un portaherramientas de forma cilíndrica 58, soportado a su vez por una parte de soporte 50, que en esta realización tiene una forma general de U. El portaherramientas 58 puede girar alrededor de su eje con el fin de presentar diferentes partes de la superficie en la dirección frontal. La herramienta 10 en esta realización está destinada al tratamiento de una superficie curvada exterior. La herramienta 10 se acciona mediante medios de accionamiento 61 dispuestos para mover la parte de soporte 50 a lo largo de una trayectoria predeterminada. La elasticidad de la parte de soporte 50 y el portaherramientas 58 actúa conjuntamente con el movimiento de los medios de accionamiento 61 para crear una fuerza que presiona la superficie de trabajo 12 contra la superficie que va a tratarse. Los medios de accionamiento 61 podrían implementarse fácilmente mediante por ejemplo una máquina de CNC o un robot industrial.

En la presente realización, se une adicionalmente una piedra triboquímicamente inerte 69 a la parte de soporte 50. La parte de unión de la parte de soporte se dispone como medios 68 para intercambiar posiciones de la superficie de trabajo de herramienta de deposición triboquímica y la piedra triboquímicamente inerte. La parte de soporte 50 llega a poder usarse de ese modo tanto para la deposición triboquímica como para otros posibles tratamientos triboquímicamente inertes, tales como rectificado preliminar, desbastado de la superficie antes de la deposición o compactación tras la deposición de la superficie triboquímica.

En la figura 8, se ilustra una realización de un aparato 80 para fabricar un elemento mecánico que tiene una superficie curvada. Se dispone una herramienta 10 para presionarse contra y moverse con respecto a una superficie curvada 20 de un elemento mecánico 41. Una capa de superficie triboquímica 22 se forma de ese modo en el elemento mecánico 41. El aparato 80 está dotado en esta realización de medios de medición de la resistencia de contacto 82, que comprenden una unidad de control 84 conectada eléctricamente mediante conexiones 85, 86 a una sonda de medición 83 y al elemento mecánico 41, respectivamente. La sonda de medición 83 es un objeto curvado con un radio menor que el radio más pequeño de la superficie curvada del elemento mecánico 41. La sonda de medición 83 tiene una superficie bien definida y se lleva en contacto con el elemento mecánico de una manera bien controlada. La unidad de control 84 se dispone para controlar el movimiento de la sonda de medición 83. La unidad de control 84 se dispone además para detectar cualquier cambio en la resistencia de contacto. Una medición de resistencia de contacto de este tipo se conoce como tal en la técnica anterior, pero puede aplicarse en la presente invención para usarse para controlar el trabajo de la superficie del elemento mecánico 41 durante el proceso real. La resistencia de contacto resulta enormemente influida por la formación de la capa de superficie 22 y el trabajo de la superficie puede controlarse, por tanto, hasta que se logra una resistencia de contacto solicitada.

La composición de la superficie de trabajo de la herramienta tiene que proporcionar el elemento que puede formar sulfuros estables, por ejemplo un metal refractario, y, en particular, W y/o Mo, como fuente para la reacción triboquímica. Las sustancias adecuadas se encuentran entre óxidos, carburos y siliciuros de estos elementos. Las sustancias de herramienta que se someten a prueba con buenos resultados son el carburo de tungsteno, trióxido de tungsteno y carburo de molibdeno. La superficie de trabajo puede proporcionarse de maneras diferentes. Una capa de superficie de la sustancia de superficie de trabajo puede depositarse, por ejemplo, en un núcleo de herramienta de otro material, tal como se indica, por ejemplo, en la figura 4. Tales deposiciones pueden proporcionarse mediante, por ejemplo, procesos de PVD. El tamaño de cristal de las partículas en la superficie de herramienta deben mantenerse pequeñas para obtener una reactividad aumentada. Preferiblemente, un tamaño de cristal medio debe ser menor de 100 nm. En la figura 9A, se ilustra una realización de una piedra de trabajo que puede usarse con la presente invención. La piedra de trabajo 90 comprende un núcleo cilíndrico 92. En la superficie del núcleo cilíndrico 92 se deposita una superficie de trabajo 12. La piedra de trabajo 90 se presiona durante el funcionamiento contra la superficie que va a tratarse y se hace girar simultáneamente. Esto tiene la ventaja de que el material de la superficie de trabajo 12 se desgastará esencialmente a la misma velocidad por toda la piedra de trabajo 90.

La forma real de la superficie de trabajo 12 se adapta preferiblemente a la superficie que se pretende tratar. Es posible el tratamiento mediante un contacto puntual entre la superficie de trabajo y la superficie que va a recubrirse, al menos en teoría. Sin embargo, para fines prácticos, se prefieren áreas de contacto extendidas o contactos lineales. En la realización de la figura 9A, el área de contacto normalmente es un contacto lineal. La superficie de trabajo puede tener, por tanto, diferentes formas geométricas. Si las superficies que van a recubrirse tienen estructuras cóncavas pequeñas, la extensión geométrica de la superficie de trabajo tiene que ser pequeña. En este caso, puede preferirse un área de contacto conformacional. En tales realizaciones, el área de contacto es una superficie extendida creada cuando dos superficies de acoplamiento se ajustan exactamente o incluso estrechamente entre sí. Si en cambio va a tratarse una superficie convexa, pueden usarse superficies de trabajo más grandes e incluso planas o cóncavas. También en este caso pueden usarse áreas de contacto conformacionales. Para superficies planas que vayan a recubrirse, la superficie de trabajo también puede ser plana. Sin embargo, el área de contacto total tiene que mantenerse suficientemente pequeña para producir una presión suficiente en la zona de contacto. Normalmente, es posible usar contactos lineales en todas las superficies planas y en superficies que están curvadas en una dirección.

5 En la figura 9B, se ilustra otra realización de una piedra de trabajo 90. En este caso, el núcleo 90 está recubierto por una superficie de trabajo sólo en una sección limitada estrecha. Una realización de este tipo tiene la ventaja de ser fácil de unir a una herramienta, y no tienen que proporcionarse movimientos adicionales. Tal como se mencionó anteriormente, pueden tratarse superficies que tienen radios de curvatura cóncavos pequeños. La desventaja es, en cambio, que el material de la superficie de trabajo es muy limitado y la piedra de trabajo 90 de esta realización se desgastará rápidamente.

En la figura 9C, se ilustra todavía otra realización de una piedra de trabajo 90. En este caso, el núcleo 90 está dotado de una superficie cóncava, depositándose una superficie de trabajo 12 sobre ella. Una piedra de trabajo 90 de este tipo es adecuada, por ejemplo, para tratar la superficie exterior de un árbol.

10 Otra alternativa es proporcionar una herramienta con una piedra de trabajo, en la que la sustancia de superficie de trabajo solicitada se encuentra por todo el volumen de la piedra de trabajo. Una realización de este tipo se ilustra esquemáticamente en la figura 9D. De esta forma, la vida útil para una superficie de trabajo de una herramienta puede aumentarse considerablemente. Una herramienta de este tipo puede fabricarse, por ejemplo, uniendo granos del óxido, carburo y/o siliciuro de Mo y/o W entre sí mediante una sustancia aglutinante. Los candidatos adecuados
15 pueden encontrarse entre adhesivos sintéticos a base de carbono y hierro metálico. En la realización de la figura 9D, la piedra de trabajo 90 también puede mostrar volúmenes porosos pequeños 96, distribuidos por toda la superficie de trabajo, que contienen pequeñas cantidades de sustancias de azufre necesarias. Por tanto, puede lograrse proporcionar el azufre necesario sin necesidad de ningún suministro externo.

20 Las realizaciones descritas anteriormente han de entenderse como algunos ejemplos ilustrativos de la presente invención. Los expertos en la técnica entenderán que pueden realizarse diversas modificaciones, combinaciones y cambios a las realizaciones sin apartarse del alcance de la presente invención. En particular, pueden combinarse diferentes soluciones de partes en las diferentes realizaciones en otras configuraciones, cuando sea técnicamente posible. El alcance de la presente invención se define, sin embargo, por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Método de fabricación para elemento mecánico (41), que comprende la etapa de:
proporcionar (210) un elemento mecánico (41) que tiene una superficie (20) que va a recubrirse,
caracterizado por la etapa adicional de:
5 depositar de manera triboquímica (214) sustancia de lubricante sólido directamente sobre dicha superficie (20) que va a recubrirse en presencia de azufre;
realizándose dicha deposición triboquímica (214) en cada punto de al menos una parte de dicha superficie (20) que va a recubrirse en al menos dos direcciones transversales a lo largo de dicha superficie (20) que va a recubrirse;
10 en el que el movimiento en dos direcciones transversales en o a lo largo de una superficie está definido por dos movimientos no paralelos que se cortan en un punto sobre la superficie.
2. Método según la reivindicación 1, caracterizado porque dicha etapa de depositar de manera triboquímica (214) comprende:
15 presionar y deslizar una superficie de trabajo de herramienta de deposición triboquímica (12) contra dicha superficie (20) que va a recubrirse en dichas al menos dos direcciones transversales, produciendo la deformación en una zona de contacto (8) entre dicha superficie de trabajo de herramienta de deposición triboquímica (12) y dicha superficie (20) que va a recubrirse,
20 mediante lo cual se produce la transferencia de desgaste de material desde dicha superficie de trabajo de herramienta de deposición triboquímica (12) a dicha superficie (20) que va a recubrirse, proporcionando una superficie de elemento mecánico lisa.
3. Método según la reivindicación 2, caracterizado porque dicha etapa de depositar de manera triboquímica (214) comprende además:
suministrar azufre a dicha zona de contacto (8) durante dicha presión y deslizamiento,
mediante lo cual el azufre reacciona con dicho material sometido a transferencia de desgaste.
- 25 4. Método según la reivindicación 3, caracterizado porque dicho elemento mecánico (41) en dicha superficie (20) que va a recubrirse comprende una sustancia que puede formar un sulfuro estable.
5. Método según la reivindicación 4, caracterizado porque dicha sustancia que puede formar un sulfuro estable es Fe.
- 30 6. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque dicha superficie que va a recubrirse es una superficie rugosa que tiene una rugosidad de superficie de más de $S_a = 0,1 \mu\text{m}$, donde S_a se define como una rugosidad media aritmética tridimensional, también conocida como la rugosidad media de línea central.
7. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque dicha sustancia de lubricante sólido comprende un sulfuro de al menos uno entre Mo y W.
- 35 8. Método según la reivindicación 7, caracterizado porque dicha superficie de trabajo de herramienta (12) comprende al menos uno de un óxido, carburo y siliciuro que comprenden al menos uno entre Mo y W.
9. Elemento mecánico (41) que tiene una superficie de baja fricción, caracterizado porque dicha superficie de baja fricción (20) tiene una capa de superficie (22) de una sustancia de lubricante sólido depositada de manera triboquímica, depositada en cada punto de al menos una parte de dicha superficie de baja fricción (20) en al menos dos direcciones transversales a lo largo de dicha superficie de baja fricción (20) en presencia de azufre, en el que el movimiento en dos direcciones transversales en o a lo largo de una superficie está definido por dos movimientos no paralelos que se cortan en un punto sobre la superficie.
- 40 10. Elemento mecánico según la reivindicación 9, caracterizado porque dicha sustancia de lubricante sólido comprende un sulfuro de al menos uno entre Mo y W.
- 45 11. Elemento mecánico, según la reivindicación 9 ó 10, caracterizado porque dicha superficie de baja fricción (20) es una superficie curvada (43).
12. Herramienta (10) para fabricar un elemento mecánico (41) que presenta una superficie de baja fricción (20), que comprende:

una parte de soporte (50);

al menos una superficie de trabajo de herramienta (12); y

medios (60) para proporcionar una fuerza que presiona dicha al menos una superficie de trabajo de herramienta (12) hacia una superficie (20) de dicho elemento mecánico (41) que va a recubrirse;

5 siendo dicha al menos una superficie de trabajo de herramienta (12) una superficie de trabajo de herramienta de deposición triboquímica que comprende al menos uno entre un óxido, un carburo y un siliciuro que comprenden un elemento que puede formar un disulfuro de metal en capa estable,

10 caracterizado por comprender adicionalmente medios de accionamiento (61) para mover dicha al menos una superficie de trabajo de herramienta de deposición triboquímica en al menos dos direcciones transversales con respecto a dicha superficie (20) de dicho elemento mecánico (41) que va a recubrirse en cada punto de al menos una parte de dicha superficie (20);

en la que el movimiento en dos direcciones transversales en o a lo largo de una superficie está definido por dos movimientos no paralelos que se cortan en un punto sobre la superficie.

15 13. Herramienta según la reivindicación 12, caracterizada porque dicha superficie de trabajo de herramienta de deposición triboquímica comprende al menos uno entre un óxido, un carburo y un siliciuro que comprenden al menos uno entre Mo y W.

14. Herramienta según la reivindicación 12 ó 13, caracterizada porque dicha superficie de trabajo de herramienta de deposición triboquímica (12) comprende una sustancia aglutinante que une granos de dicho al menos uno entre un óxido, un carburo y un siliciuro.

20 15. Herramienta según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, caracterizada porque dicha superficie de trabajo de herramienta de deposición triboquímica comprende volúmenes porosos (96) que comprenden dichas sustancias de azufre.

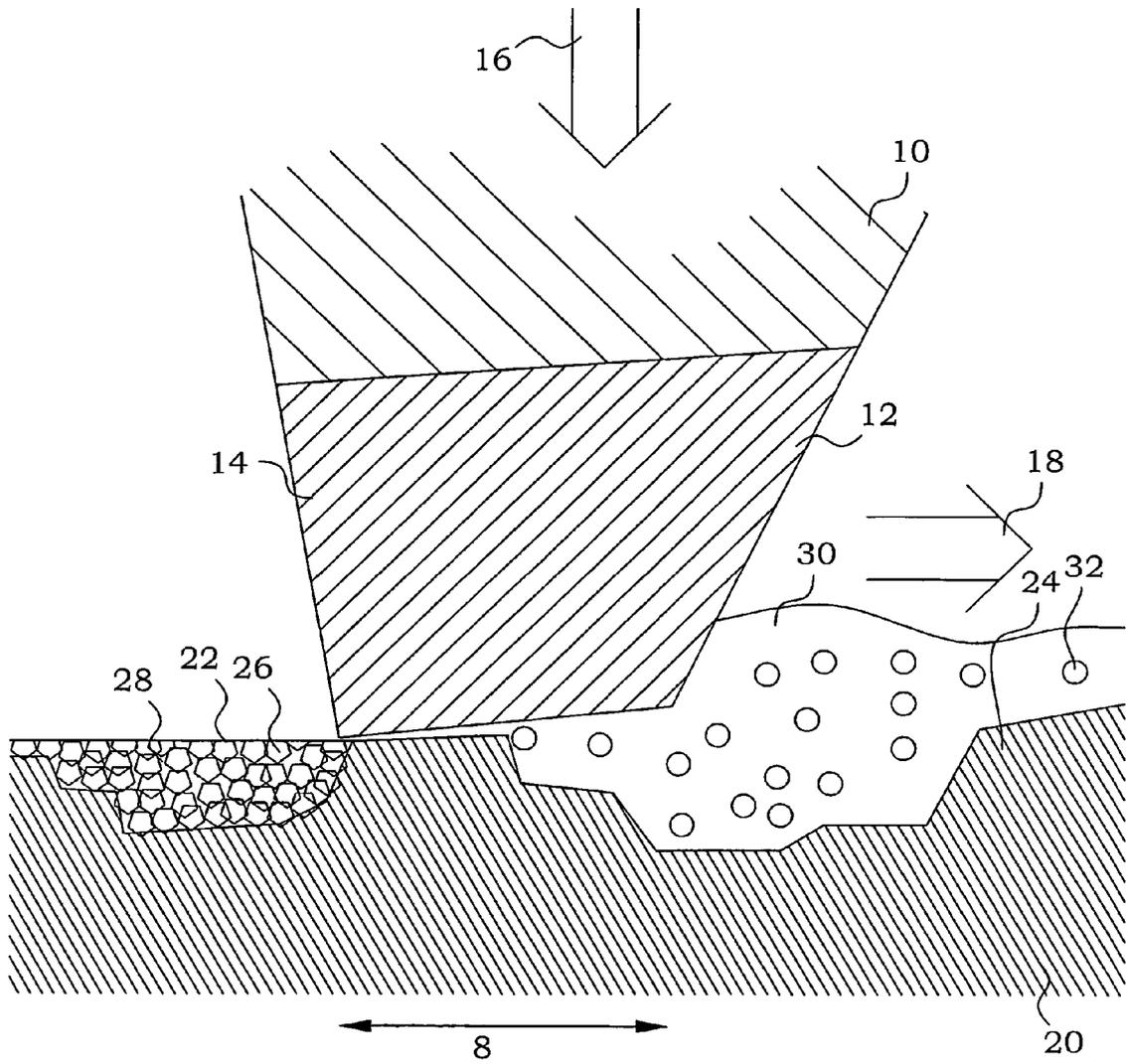
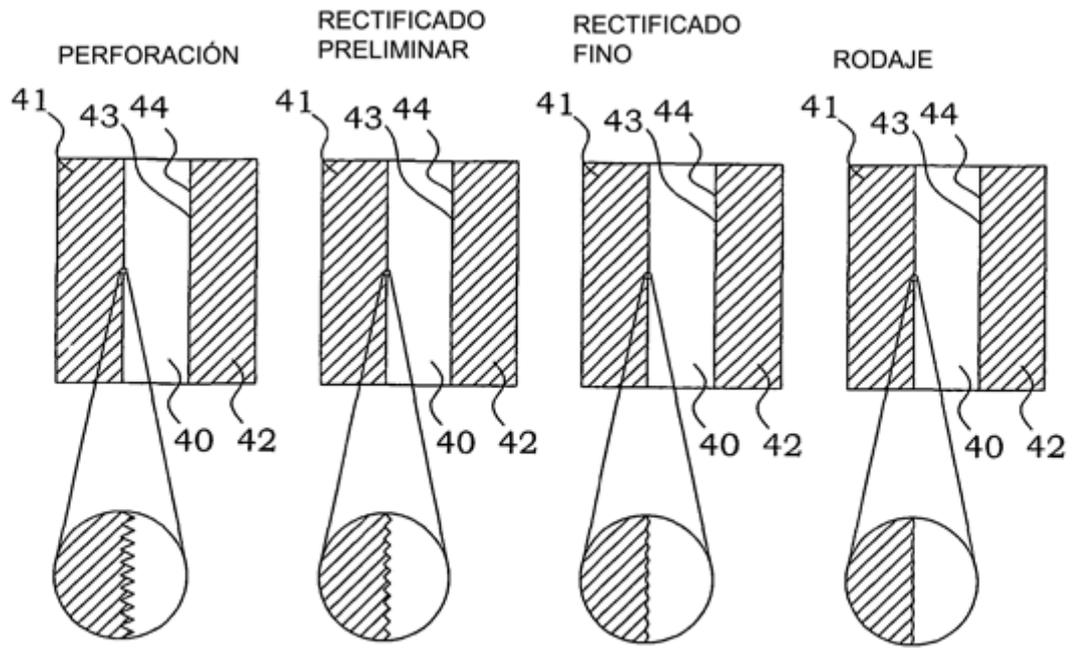


Fig. 1



TÉCNICA ANTERIOR Fig. 2

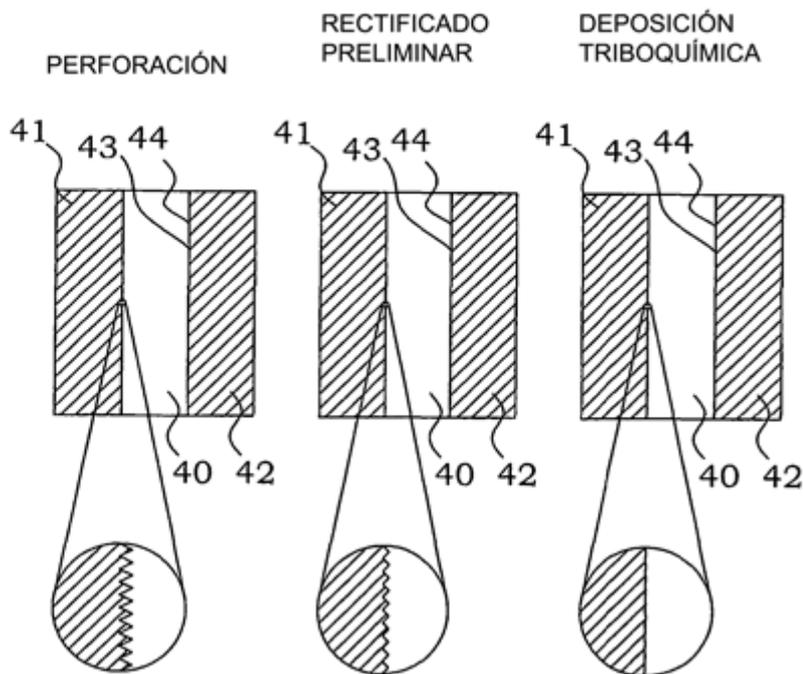


Fig. 3

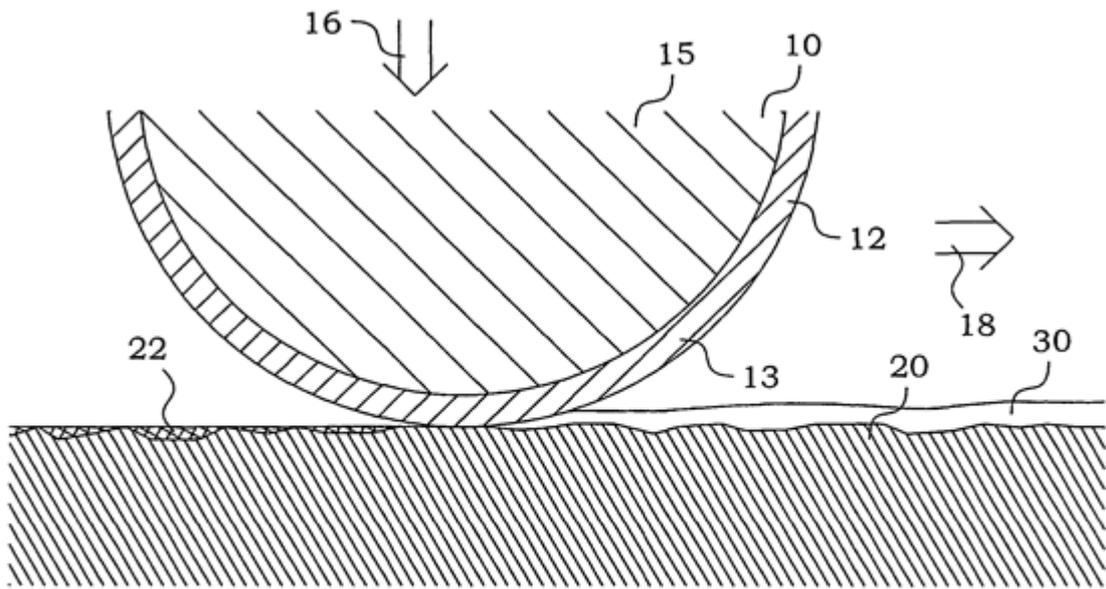


Fig. 4

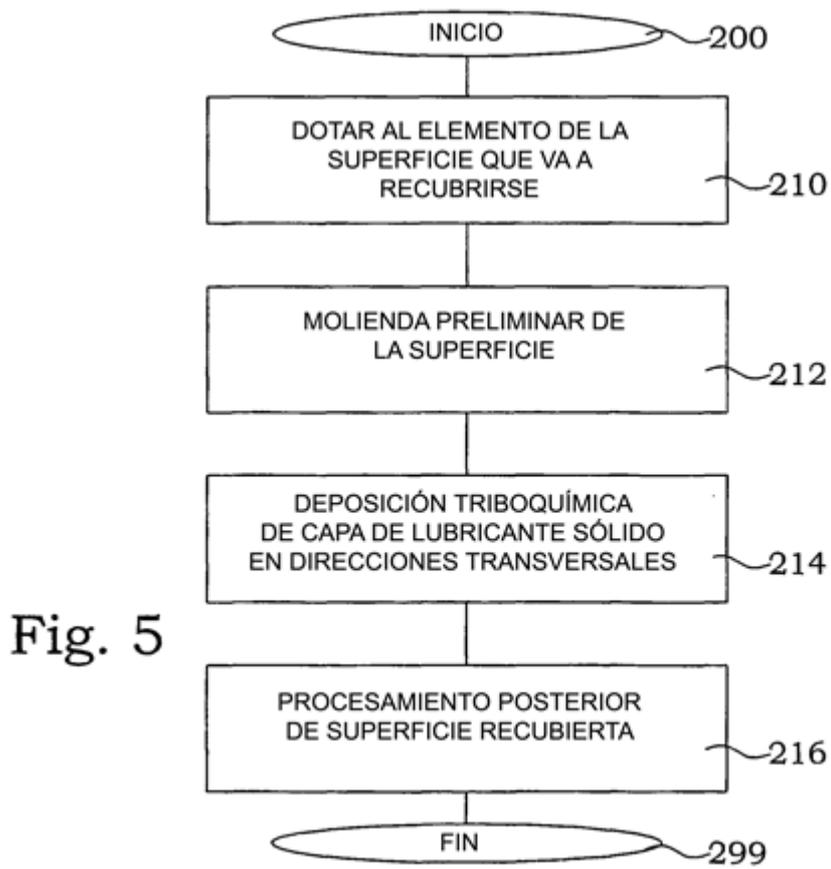


Fig. 5

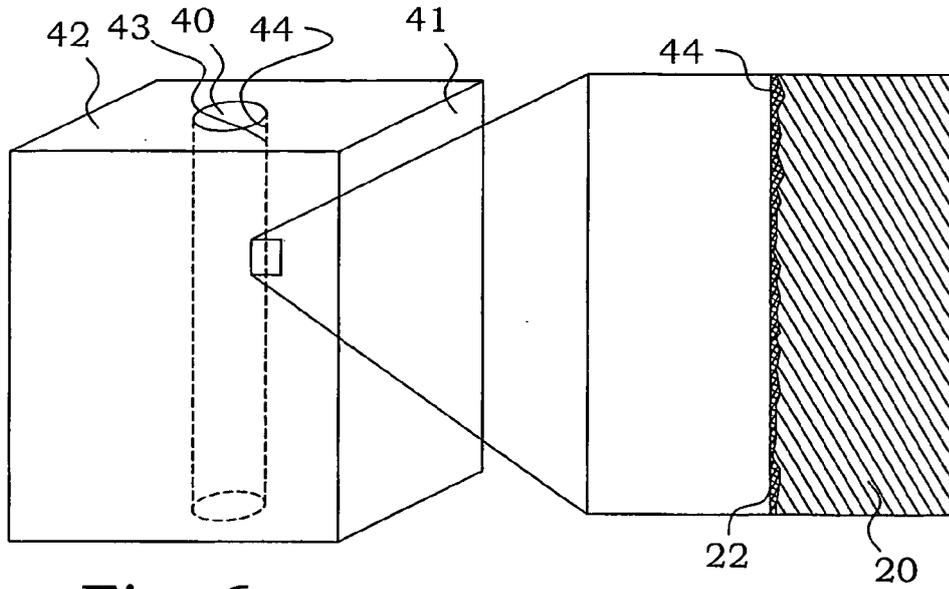


Fig. 6

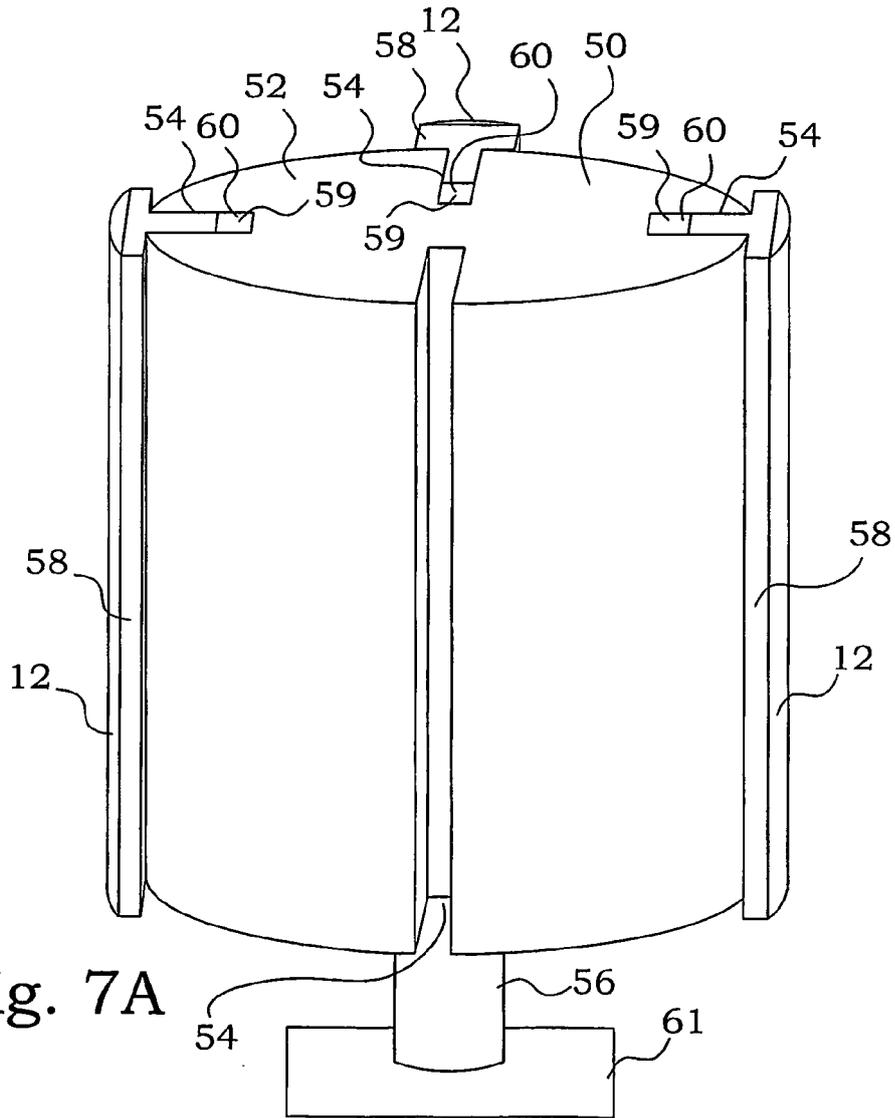


Fig. 7A

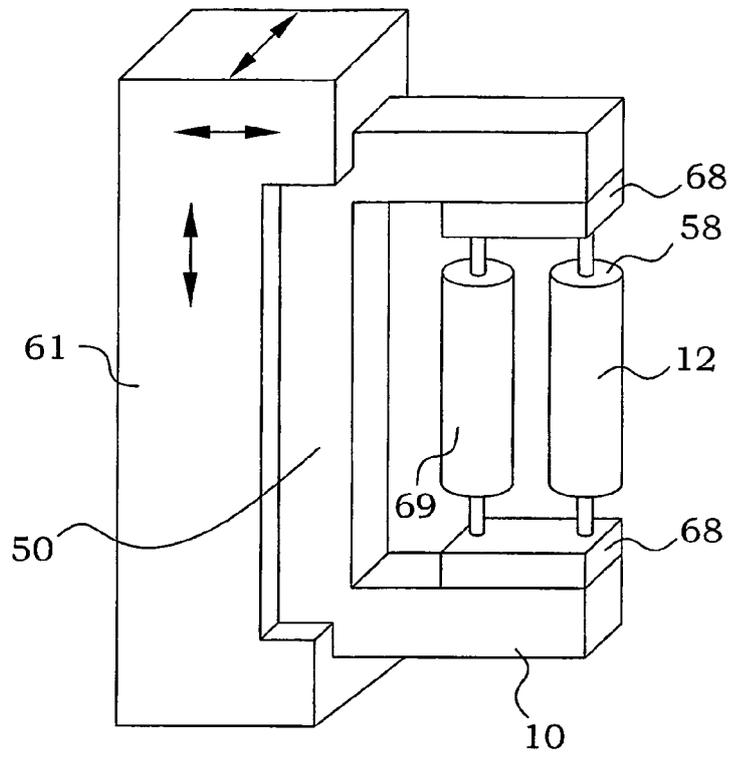


Fig. 7B

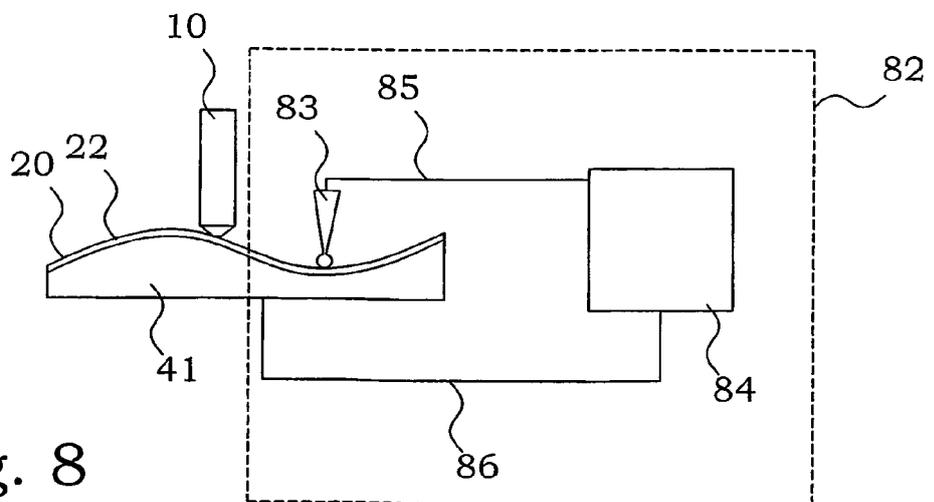
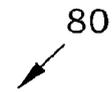


Fig. 8

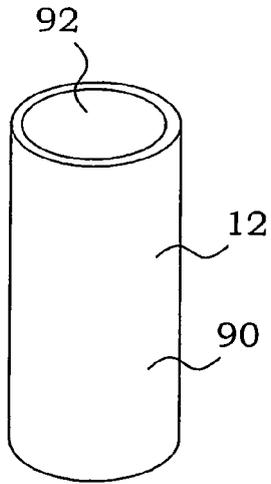


Fig. 9A

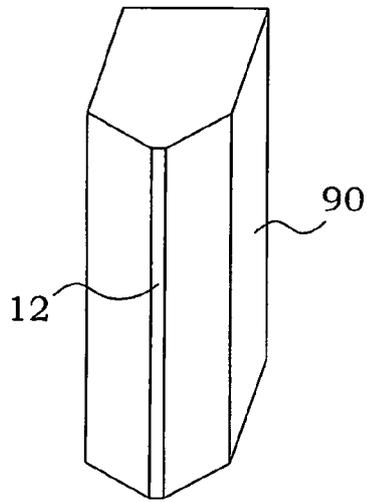


Fig. 9B

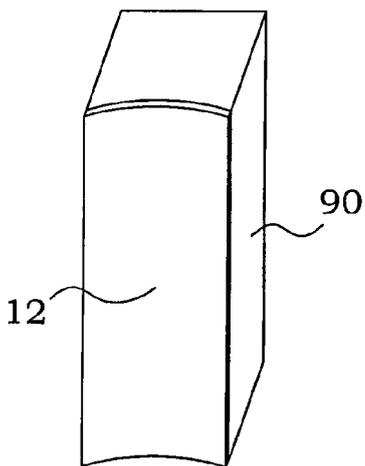


Fig. 9C

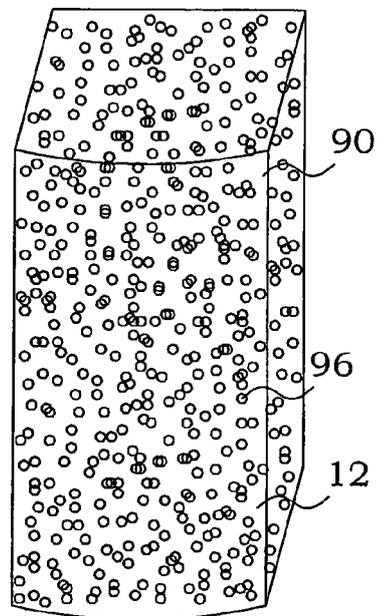


Fig. 9D



Fig. 10A

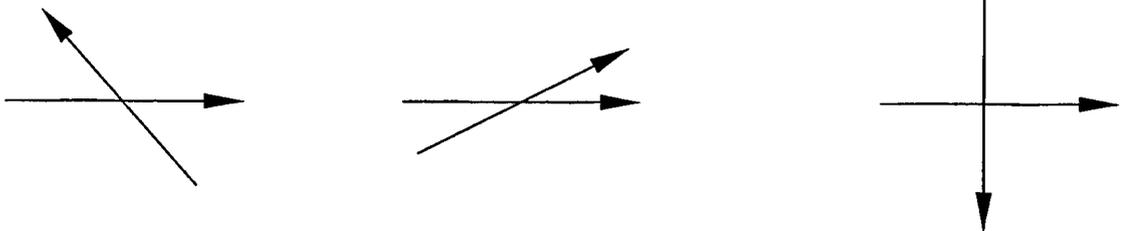


Fig. 10B