

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 613 816**

51 Int. Cl.:

H01J 35/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.01.2012 PCT/AT2012/000009**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.07.2012 WO2012097393**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.01.2012 E 12709493 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.11.2016 EP 2666180**

54 Título: **Ánodo giratorio de rayos X**

30 Prioridad:

19.01.2011 AT 342011

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

26.05.2017

73 Titular/es:

**PLANSEE SE (100.0%)
6600 Reutte, AT**

72 Inventor/es:

**EITER, JOHANN;
SCHATTE, JÜRGEN;
GLATZ, WOLFGANG;
KNABL, WOLFRAM;
LEICHTFRIED, GERHARD y
SCHÖNAUER, STEFAN**

74 Agente/Representante:

ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María

ES 2 613 816 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

Ánodo giratorio de rayos X

5 La presente invención se refiere a un ánodo giratorio de rayos X que presenta un cuerpo de soporte y una pista focal, configurada sobre el cuerpo de soporte, estando fabricados el cuerpo de soporte y la pista focal como compuesto mediante pulvimetalurgia, estando formado el cuerpo de soporte por molibdeno o una aleación a base de molibdeno y estando formada la pista focal por wolframio o una aleación a base de wolframio.

10 Los ánodos giratorios de rayos X se usan en tubos de rayos X para la generación de rayos X. Durante el uso se emiten electrones desde un cátodo de los tubos de rayos X y se aceleran en forma de un rayo de electrones enfocado hacia el ánodo giratorio de rayos X que se hace rotar. La mayor parte de la energía del rayo de electrones se transforma en calor en el ánodo giratorio de rayos X, mientras que un pequeño porcentaje se irradia como radiación de rayos X. La cantidad de calor liberada localmente produce un fuerte calentamiento del ánodo giratorio
15 de rayos X y altos gradientes de temperatura. Esto provoca una carga muy fuerte en el ánodo giratorio de rayos X. Mediante la rotación del ánodo giratorio de rayos X se contrarresta un sobrecalentamiento del material del ánodo.

Por lo general, los ánodos giratorios de rayos X presentan un cuerpo de soporte y un revestimiento, configurado sobre el cuerpo de soporte, que está diseñado especialmente para la generación de rayos X y se identifica como
20 pista focal en el campo especializado. El cuerpo de soporte y la pista focal están configurados con materiales de alto punto de fusión. La pista focal cubre generalmente al menos la zona del cuerpo de soporte sometida al rayo de electrones durante el uso. En particular, para la pista focal se usan materiales con un alto número atómico, por ejemplo, wolframio, aleaciones a base de wolframio, en particular aleaciones de wolframio y renio, etc. El cuerpo de soporte ha de garantizar, entre otros, una disipación de calor efectiva del calor liberado en el punto de impacto del
25 rayo de electrones. Los materiales (con alta conductibilidad térmica), que han resultado adecuados en este sentido, son en particular el molibdeno, las aleaciones a base de molibdeno, etc. Un procedimiento de fabricación adecuado y comparativamente económico es la pulvimetalurgia, en la que el cuerpo de soporte y la pista focal se fabrican como compuesto.

30 Para un alto rendimiento de radiación o rendimiento de dosis (de rayos X) es esencial que la superficie de la pista focal sea lo más lisa posible. Con respecto al comportamiento durante un uso prolongado y a la vida útil alcanzable, la pista focal deberá ser lo más estable posible contra una rugosidad de la superficie de la pista focal, así como contra una configuración de grietas anchas y/o profundas en la misma. En el cuerpo de soporte se generan tensiones térmicas y mecánicas relativamente altas debido a las altas temperaturas, a los altos gradientes de
35 temperatura y a las altas velocidades de rotación. A pesar de estas cargas, el cuerpo de soporte deberá ser lo más estable posible ante las deformaciones macroscópicas. Hasta el momento, la idea imperante es que esta estabilidad tanto en la pista focal como en el cuerpo de soporte se puede conseguir al estar presentes tanto la pista focal como el cuerpo de soporte en una estructura completamente recristalizada. En este sentido se asume que de esta manera, la estructura de la pista focal y la estructura del cuerpo de soporte son estables en gran medida ante las modificaciones estructurales (por ejemplo, una recristalización, etc.), incluso a las altas temperaturas de uso que se
40 generan.

Sin embargo, la recristalización, que tiene lugar en la pista focal durante la fabricación pulvimetalúrgica actual, provoca tamaños de grano relativamente grandes. Tales estructuras implican el riesgo de configuración de grietas
45 relativamente profundas y anchas que se propagan con preferencia a lo largo de los límites de grano. Asimismo, en caso de tamaños de grano grandes existe la fuerte tendencia a que durante el tiempo de uso se produzca también una rugosidad relativamente gruesa en la superficie de la pista focal. Una estructura recristalizada en el cuerpo de soporte reduce su resistencia y dureza. En particular en presencia de altas temperaturas y altas cargas mecánicas se puede producir una deformación plástica del cuerpo de soporte (en particular al superarse la tensión de fluencia).
50 En particular en el intervalo de alto rendimiento, en el que se puede proporcionar un alto rendimiento de dosis (o rendimiento de radiación) y la velocidad de rotación del ánodo giratorio de rayos X es comparativamente alta, se superan en parte estos valores críticos. Como resultado de la resistencia térmica reducida del material del cuerpo de soporte (completamente recristalizado) quedan limitadas, por tanto, las posibilidades de uso de ánodos giratorios de rayos X con estructura completamente recristalizada del cuerpo de soporte. En aplicaciones, que requieren una alta
55 resistencia y dureza del cuerpo de soporte también a altas temperaturas, se usan hasta el momento aleaciones especiales y/o materiales, a los que se han adicionado impurezas atómicas o impurezas presentes como partículas para aumentar la resistencia (véase, por ejemplo, el documento US2005/0135959A1).

Por el documento US4,109,058A es conocido un ánodo giratorio de rayos X, en el que un cuerpo de base está provisto de un metal refractario con un revestimiento de pista focal. El revestimiento de pista focal está formado por
60 una aleación ternaria, en la que partículas finas de wolframio y molibdeno están recubiertas completamente en cada caso de renio para formar una aleación homogénea. La ventaja de esta aleación ternaria radica en que presenta una mayor resistencia ante fenómenos de envejecimiento de la superficie de la pista focal y proporciona una ductilidad suficiente.

65

Por el documento US3,735,458A es conocido un procedimiento para la fabricación de un ánodo giratorio de rayos X, en el que un cuerpo de base en forma de disco, presente como cuerpo sólido y hecho de un material a base de molibdeno, y un revestimiento de pista focal en forma de disco, presente como cuerpo sólido y hecho de un material a base de wolframio, se unen entre sí mediante un proceso de forja a temperaturas situadas por debajo de la temperatura de recristalización.

En el documento US6,487,275B1 se describe un ánodo giratorio de rayos X con una pista focal de una aleación de wolframio y renio, que presenta un tamaño de grano de 0,9 μm a 10 μm y se puede fabricar durante un procedimiento de revestimiento CVD (CVD: Chemical Vapour Deposition, deposición química de vapor).

Por consiguiente, el objetivo de la presente invención consiste en proporcionar un ánodo giratorio de rayos X que se pueda fabricar como compuesto mediante pulvimetalurgia, posibilite un alto rendimiento de dosis durante largos períodos de uso y tenga una gran vida útil.

El objetivo se consigue mediante un ánodo giratorio de rayos X de acuerdo con la reivindicación 1. En las reivindicaciones secundarias se indican variantes ventajosas de la invención.

Según la presente invención se pone a disposición un ánodo giratorio de rayos X que presenta un cuerpo de soporte y una pista focal configurada sobre el cuerpo de soporte. El cuerpo de soporte y la pista focal están fabricados como compuesto mediante pulvimetalurgia, el cuerpo de soporte está formado por molibdeno o una aleación a base de molibdeno y la pista focal está formada por wolframio o una aleación a base de wolframio. En el ánodo giratorio de rayos X tratado por último con calor, al menos una sección de la pista focal está presente en una estructura no recristalizada y/o en una estructura parcialmente recristalizada.

Al estar presente al menos una sección de la pista focal en una estructura no recristalizada y/o en una estructura parcialmente recristalizada, esta sección no tiene granos de cristal resultantes de una nueva formación de granos (en caso de una estructura no recristalizada) o tiene granos de cristal resultantes de una nueva formación de granos solo en un porcentaje claramente inferior a 100 % (estructura parcialmente recristalizada). El porcentaje restante de dicha sección está presente en una estructura de deformación que se obtiene durante la fabricación pulvimetalúrgica mediante la etapa de deformación, en particular mediante el proceso de forja. En la sección con la estructura no recristalizada y/o parcialmente recristalizada se obtiene en total una estructura de grano muy fino (tanto respecto a los límites de grano de ángulo grande y las secciones de límite de grano de ángulo grande como respecto a los límites de grano de ángulo pequeño) que tiene una alta resistencia y dureza. Esta estructura presenta una superficie muy lisa, lo que es ventajoso en relación con el rendimiento de dosis. Se ha comprobado que esta estructura se recristaliza localmente bajo el efecto de un rayo de electrones (por ejemplo, durante el "acondicionamiento" o la "entrada" con el rayo de electrones y/o durante el uso). La zona, en la que tiene lugar una recristalización, se limita al entorno inmediato de la trayectoria del rayo de electrones sobre la pista focal y se puede extender, en dependencia del grosor de la pista focal, hasta por debajo del cuerpo de soporte (y, dado el caso, hasta el interior del mismo). La pista focal presenta a continuación en la zona recristalizada una elevada ductilidad que es ventajosa para evitar el agrietamiento, así como una elevada conductibilidad térmica que es ventajosa para una disipación de calor efectiva en el cuerpo de soporte. Las zonas circundantes de la pista focal se mantienen en gran medida invariables. En particular siguen estando presentes en una estructura no recristalizada y/o en una estructura parcialmente recristalizada y tienen, por consiguiente, una alta resistencia y dureza. Esto es ventajoso en relación con una estabilización de la zona recristalizada de la pista focal. Se ha comprobado además de manera sorprendente que la estructura localmente recristalizada (durante el uso) de la pista focal se mantiene con un grano considerablemente más fino que en el caso de los procesos de recristalización durante los procedimientos de fabricación convencionales, en particular los procedimientos de fabricación convencionales mediante pulvimetalurgia. La superficie de la pista focal es lisa durante largos períodos de uso también en las zonas con la estructura recristalizada y presenta un patrón de grieta uniforme, repartido finamente. Por tanto, el ánodo giratorio de rayos X, según la invención, posibilita un alto rendimiento de dosis durante largos períodos de uso y presenta además una gran vida útil. Una posible explicación para la configuración de grano fino de la estructura recristalizada de la pista focal bajo el efecto del rayo de electrones es que debido al efecto del rayo de electrones tiene lugar una transformación abrupta. En cambio se comprobó que en el caso del tratamiento térmico, ejecutado en el curso de la fabricación pulvimetalúrgica convencional, tienen lugar procesos de recuperación, que influyen sobre el comportamiento de recristalización, durante el calentamiento en el horno hasta alcanzarse la temperatura de mantenimiento.

En caso de una composición determinada de la pista focal se puede obtener una dureza inicial mayor (y una resistencia inicial mayor) con un grado de deformación creciente (que se ajusta en la etapa de deformación, en particular de la forja). A partir de esta dureza inicial (y resistencia inicial), la dureza (y la resistencia) disminuyen con el grado de recristalización de la estructura. Con un grado creciente de recristalización aumenta también la ductilidad. La texturización preferente de la dirección $\langle 111 \rangle$ y de la dirección $\langle 001 \rangle$ en perpendicular al plano de la pista focal, indicada a continuación con referencia a una variante, se ajusta en particular mediante el proceso de forja (bajo el efecto de una fuerza que actúa esencialmente en perpendicular al plano de la pista focal). Se comprobó que también esta texturización preferente disminuye con el grado de recristalización de la estructura. Las relaciones correspondientes se aplican también al cuerpo de soporte. A partir de estas dependencias, el técnico selecciona

para la respectiva composición de la pista focal los parámetros necesarios de la fabricación pulvimetalúrgica (en particular la temperatura durante la forja, el grado de deformación en el proceso de forja, la temperatura durante el tratamiento térmico, la duración del tratamiento térmico) con el fin de obtener las características, indicadas según la invención, en al menos una sección de la pista focal. En este contexto se entiende por una estructura parcialmente
 5 recristalizada (respecto a la pista focal, así como respecto al cuerpo de soporte) una estructura, en la que los granos de cristal, resultantes de la nueva formación de grano, están rodeados por una estructura de deformación y en la que estos granos de cristal forman una superficie en el intervalo de 5 a 90 % respecto a una superficie de sección transversal a través de la estructura parcialmente recristalizada. Si la superficie de los granos de cristal resultantes de la nueva formación de grano está situada en el intervalo inferior a 5 % o en la estructura no están presentes
 10 granos de cristal resultantes de la nueva formación de grano, se supone en este contexto que se trata de una estructura no recristalizada. Si la superficie es superior a 90 %, se supone en este contexto que se trata de una estructura completamente recristalizada. Un procedimiento de medición posible, adecuado para determinar el porcentaje de superficie, se indica más adelante en relación con la descripción de las figuras 4A-4D.

15 El ánodo giratorio de rayos X, según la invención, es en particular un ánodo giratorio de rayos X de alto rendimiento que está diseñado para un alto rendimiento de radiación (o rendimiento de dosis) y para una alta velocidad de rotación. Tales ánodos giratorios de rayos X de alto rendimiento se usan en particular en el sector médico, por ejemplo, en la tomografía computarizada (TC) y en aplicaciones cardiovasculares (CV). En general, en el cuerpo de soporte, en particular en el lado opuesto a la pista focal, pueden estar previstas también otras capas, piezas
 20 añadidas, etc., por ejemplo, un bloque de grafito. En el caso de ánodos giratorios de rayos X de alto rendimiento es necesaria generalmente una disipación de calor adicional del cuerpo de soporte. En particular, el ánodo giratorio de rayos X según la invención está diseñado para un enfriamiento activo. En este caso, un fluido circulante, que sirve para disipar el calor del cuerpo de soporte, se guía de manera directamente contigua al cuerpo de soporte o cerca del cuerpo de soporte, en particular centralmente a través del ánodo giratorio de rayos X (por ejemplo, a través de un canal que discurre a lo largo del eje de simetría rotacional). Alternativamente, en el lado trasero del cuerpo de
 25 soporte puede estar dispuesto un cuerpo de grafito (por ejemplo, mediante soldadura, unión por difusión) para aumentar la capacidad de almacenamiento de calor del ánodo giratorio de rayos X y para aumentar la radiación de calor. No obstante, el ánodo giratorio de rayos X puede estar diseñado también alternativamente para rendimientos de radiación menores. En este sentido se puede prescindir, dado el caso, de un enfriamiento activo y de la
 30 disposición de un bloque de grafito.

Una aleación a base de molibdeno se refiere en particular a una aleación que presenta molibdeno como componente principal, es decir, en un porcentaje mayor (medido en por ciento en peso) que cada uno de los demás elementos
 35 contenidos en cada caso. Como material para el cuerpo de soporte se pueden usar en particular también aleaciones especiales de alta resistencia y dureza y/o el material de soporte puede tener impurezas atómicas o partículas añadidas a fin de aumentar la resistencia. Según una variante, la aleación a base de molibdeno presenta un porcentaje de al menos 80 (por ciento en peso), en particular al menos 90 % en peso de molibdeno. Una aleación a base de wolframio se refiere en particular a una aleación que presenta wolframio como componente principal. En particular, la pista focal se forma a partir de una aleación de wolframio y renio que presenta un porcentaje de renio
 40 de hasta 26 % en peso. En particular, el porcentaje de renio está situado en un intervalo de 5 a 10 % en peso. Con estas composiciones indicadas de la pista focal y del cuerpo de soporte y particularmente con los intervalos más estrechos, indicados en cada caso, se pueden conseguir buenas propiedades respecto a la dureza, la resistencia a la temperatura y la conducción de calor.

45 Por un “ánodo giratorio de rayos X tratado por último con calor” se entiende que éste ha pasado por la etapa de tratamiento térmico o por todas las etapas de tratamiento térmico ejecutadas durante la fabricación pulvimetalúrgica. Las características reivindicadas (y también las características explicadas a continuación con referencia a las reivindicaciones secundarias y las variantes) se refieren en particular al producto final (que aún no está en uso), disponible al finalizar la etapa o las etapas de tratamiento térmico ejecutadas durante la fabricación pulvimetalúrgica.
 50 La fabricación pulvimetalúrgica del cuerpo de soporte y de la pista focal como compuesto se puede identificar en el producto final, entre otros, en la zona de difusión acentuada entre el cuerpo de soporte y la pista focal. En procedimientos de fabricación alternativos, por ejemplo, una aplicación de la pista focal mediante CVD (CVD: Chemical Vapour Deposition, deposición química de vapor) o mediante proyección por plasma al vacío, la zona de difusión tiene generalmente una configuración más pequeña o casi inexistente. El término “sección” de la pista focal se refiere en particular a una sección macroscópica coherente de la pista focal (es decir, que comprende una pluralidad de límites de grano y/o secciones de límite de grano). En este caso, varias de estas secciones pueden estar presentes también con las propiedades reivindicadas. En particular, la sección de la pista focal, sobre la que
 55 discurre la trayectoria del rayo de electrones (durante el uso), presenta las propiedades reivindicadas. En particular, la pista focal presenta las propiedades reivindicadas en toda su zona. Una “estructura no recristalizada y/o parcialmente recristalizada” se refiere a una estructura que puede estar exclusivamente no recristalizada, que puede estar exclusivamente parcialmente recristalizada o que puede estar no recristalizada por secciones o parcialmente recristalizada por secciones.
 60

Según una variante, la sección de la pista focal presenta en perpendicular a un plano de pista focal una texturización preferente de la dirección $\langle 111 \rangle$ con un coeficiente de textura $TC_{(222)}$, determinable por difracción de rayos X (XRD: X-ray Diffraction), de ≥ 4 y una texturización preferente de la dirección $\langle 001 \rangle$ con un coeficiente de textura $TC_{(200)}$,
 65

determinable por difracción de rayos X, de ≥ 5 (con

$$TC_{(hkl)} = \frac{\frac{I_{(hkl)}}{\sum_{j=1}^n I_{j(hkl)}}}{\frac{I_{(hkl)}^0}{\sum_{j=1}^n I_{j(hkl)}^0}}$$

5 donde $I_{(hkl)}$ es la intensidad medida del pico (hkl), $I_{(hkl)}^0$ es la intensidad sin textura del pico (hkl) según la base de datos JCPDS y n es la cantidad de picos evaluados, habiéndose evaluado los siguientes picos: (110), (200), (211), (220), (310), (222) y (321)). Por consiguiente, en la pista focal, la dirección <111> y la dirección <001> están orientadas a lo largo de la normal del plano de la pista focal en mayor medida que a lo largo de las direcciones en paralelo al plano de la pista focal. El “plano de la pista focal” se determina aquí mediante la superficie de extensión principal de la pista focal. Si el plano de la pista focal está curvado (lo que ocurre, por ejemplo, en caso de una pista focal que discurre en forma troncocónica), se hace referencia entonces a la superficie de extensión principal que está presente en el respectivo punto de medición o referencia de la pista focal.

15 Como se explica arriba, la texturización preferente de la dirección <111> y la dirección <001> en perpendicular al plano de la pista focal se ajusta mediante el proceso de forja y disminuye con el grado de recristalización creciente de la pista focal. El grado de recristalización aumenta a su vez con la temperatura creciente y con la duración creciente del tratamiento térmico (durante y/o después de la forja). Por consiguiente, los coeficientes de textura indicados son también una medida del grado de recristalización de la pista focal. En particular, el grado de recristalización de la pista focal es más bajo mientras más altos son los coeficientes de textura de estas direcciones. Dentro de los intervalos de los coeficientes de textura indicados según esta variante, la sección de la pista focal está presente en una estructura no recristalizada o en una estructura parcialmente recristalizada con grado de recristalización relativamente bajo. En este sentido se comprobó que dentro de estos intervalos se pueden conseguir las propiedades ventajosas (alta dureza y granuralidad fina) de la pista focal, explicadas arriba, presentándose en mayor medida estas propiedades ventajosas en caso de coeficientes de textura superiores. Según una variante, la sección de la pista focal presenta en perpendicular al plano de la pista focal un coeficiente de textura $T_{(222)}$ de ≥ 5 y/o un coeficiente de textura $TC_{(200)}$ de ≥ 6 . Si el grado de deformación es menor (por ejemplo, solo en el intervalo del grado de deformación (total) de 20 % a 30 % del ánodo giratorio de rayos X), las texturizaciones preferentes, indicadas arriba, están también menos acentuadas. Según una variante, la sección de la pista focal presenta en perpendicular al plano de la pista focal un coeficiente de textura $T_{(222)}$ de $\geq 3,3$ y/o un coeficiente de textura $T_{(200)}$ de ≥ 4 , aproximándose el intervalo de estos valores límites menores en particular en caso de grados de deformación comparativamente bajos.

35 El wolframio y las aleaciones a base de wolframio presentan una estructura de cristal cúbica centrada en el cuerpo. Los datos de dirección encerrados en los paréntesis angulares <...> se refieren respectivamente también a las direcciones equivalentes. Por ejemplo, la dirección <001> comprende también, además de la dirección [001], las direcciones [001], [010], [002], [200] y [100] (en cada caso respecto a una célula elemental cúbica centrada en el cuerpo). Los paréntesis redondos (...) identifican respectivamente planos reticulares. Los picos evaluados durante la medición XRD se identifican respectivamente con los planos reticulares correspondientes (por ejemplo, (222)). En este sentido se ha de considerar a su vez que, como es conocido en el campo especializado, el pico evaluable durante la medición XRD respecto al plano reticular (222) se puede ponderar también mediante los planos reticulares equivalentes (por ejemplo, (111), etc.). Por consiguiente, la intensidad del pico (222) determinada mediante la medición XRD y en particular el coeficiente de textura $TC_{(222)}$ determinado a partir de esto son una medida para la texturización preferente de la dirección <111> (en perpendicular al plano de la pista focal). De manera correspondiente, la intensidad del pico (200) determinada mediante la medición XRD y en particular el coeficiente de textura $TC_{(200)}$ determinado a partir de esto son una medida para la texturización preferente de la dirección <001>.

El coeficiente de textura se calculó respectivamente de acuerdo con las fórmulas siguientes:

$$TC_{(hkl)} = \frac{\frac{I_{(hkl)}}{\sum_{j=1}^n I_{j(hkl)}}}{\frac{I_{(hkl)}^0}{\sum_{j=1}^n I_{j(hkl)}^0}} \qquad TC_{(222)} = \frac{\frac{I_{(222)}}{\sum_{j=1}^n I_{j(hkl)}}}{\frac{I_{(222)}^0}{\sum_{j=1}^n I_{j(hkl)}^0}}$$

50 por ejemplo, para $TC_{(222)}$:

Con $I_{(hkl)}$ se identifica aquí la intensidad, determinada mediante la medición XRD, del respectivo pico (hkl), cuyo coeficiente de textura $TC_{(hkl)}$ se ha de determinar. Como “intensidad determinada” de un pico (hkl) se ha de usar en

5 cada caso el máximo de respectivo pico (hkl), detectado durante la medición XRD. Para la determinación del respectivo coeficiente de textura $TC_{(hkl)}$, las siguientes intensidades de los picos (110), (200), (211), (220), (310), (222) y (321), determinadas mediante la medición XRD, se suman en total en $I_{j(hkl)}$ desde $j=1$ hasta n (es decir, en el presente caso: $n=7$). Con $I_{(hkl)}^0$ se identifica la intensidad sin textura (por lo general, normalizada) del respectivo pico (hkl), cuyo coeficiente de textura $TC_{(hkl)}$ se ha de determinar. Esta intensidad sin textura estaría presente cuando el material respectivo no tiene una texturización. De manera correspondiente, las intensidades sin textura de estos siete picos se suman en total en $I_{j(hkl)}^0$ desde $j=1$ hasta n . Las intensidades sin textura de los respectivos picos se pueden tomar de bases de datos, consultándose en cada caso los datos sobre el componente principal del material en cuestión. Por consiguiente, para la pista focal se usó aquí el Powder Diffraction File (archivo de difracción del polvo) del wolframio (número JCPDS 00-004-0806). En particular, para el pico (110) se usó la intensidad sin textura 100, para el pico (200), la intensidad sin textura 15, para el pico (211), la intensidad sin textura 23, para el pico (220), la intensidad sin textura 8, para el pico (310) la intensidad sin textura 11, para el pico (222), la intensidad sin textura 4 y para el pico (321), la intensidad sin textura 18.

15 A continuación se describen la preparación de una muestra y un procedimiento de medición, utilizados en este caso para determinar las intensidades de los distintos picos por medio de la difracción de rayos X. En primer lugar se realiza el desbaste de la pista focal de tal modo que se elimina el área de la zona de forja (área superior de la pista focal que estaba en contacto directo con la herramienta de forja o muy cerca de la herramienta de forja durante el proceso de forja), si ésta no se había retirado completamente en el ánodo giratorio de rayos X terminado. En particular, la pista focal se desbasta hasta un grosor residual de 0,1 a 0,5 mm con un plano de desbaste en paralelo al plano de la pista focal (en dependencia del grosor inicial de la pista focal). A continuación, la superficie desbastada obtenida se electropule varias veces, al menos dos veces, (para eliminar la estructura de deformación creada por el proceso de desbaste). Durante la ejecución de la medición XRD, la muestra se hizo rotar y se excitó para la difracción sobre una superficie con un diámetro aproximado de 10 mm. Para la ejecución de la medición XRD se usa una geometría de difracción theta - 2 theta. En el presente caso, las intensidades difractadas se midieron en una macrofotografía con anchura de paso de $0,020^\circ$ y con un tiempo de medición de 2 segundos respectivamente por ángulo medido. Como radiación X se usó radiación Cu- $K\alpha_1$ con una longitud de onda de $1,5406 \text{ \AA}$. Los efectos adicionales, generados en la imagen obtenida mediante la radiación adicional Cu- $K\alpha_2$, se eliminaron con un software correspondiente. A continuación se determinan los picos máximos para los siete picos indicados arriba. En este caso, las mediciones XRD se realizaron con un difractómetro Bragg-Brentano "D4 Endeaver" de Bruker axs con una geometría de difracción theta - 2 theta, un espejo Göbel y un detector Sol-X. Como es conocido en el campo especializado, se puede usar también, sin embargo, otro aparato con ajustes correspondientes de tal modo que se obtienen resultados comparables.

35 El molibdeno y las aleaciones a base de molibdeno presentan asimismo una estructura de cristal cúbica centrada en el cuerpo. Por consiguiente, las notaciones explicadas arriba en relación con la pista focal, la fórmula para determinar el coeficiente de textura, la preparación de muestras, así como el procedimiento de medición se pueden aplicar de manera correspondiente. Durante la preparación de la muestra, el ánodo giratorio de rayos X se somete a un desbaste hasta el material del cuerpo de soporte, a diferencia del procedimiento explicado arriba, discurriendo la superficie desbastada en paralelo al plano de la pista focal. Para las intensidades sin textura del cuerpo de soporte se usó el Powder Diffraction File (archivo de difracción del polvo) del molibdeno (número JCPDS 00-042-1120). En particular, para el pico (110) se usó la intensidad sin textura 100, para el pico (200), la intensidad sin textura 16, para el pico (211), la intensidad sin textura 31, para el pico (220), la intensidad sin textura 9, para el pico (310) la intensidad sin textura 14, para el pico (222), la intensidad sin textura 3 y para el pico (321), la intensidad sin textura 24.

Según una variante, en la sección de la pista focal en perpendicular al plano de la pista focal se cumple la siguiente relación de los coeficientes de textura $TC_{(222)}$ y $TC_{(310)}$ que se pueden determinar por difracción de rayos X:

$$50 \quad \frac{TC_{(222)}}{TC_{(310)}} \geq 5$$

Esta relación describe la medida, en la que se ha ensanchado o extendido el pico (222). Si el pico (222) se ha extendido en gran medida, aumenta también la intensidad del pico contiguo (310) y se reduce, por tanto, el valor de la relación. Por consiguiente, se cumple el hecho de que mientras mayor es la relación, menor es el grado, en el que se ha extendido el pico (222). En este sentido se comprobó que en el caso de ánodos giratorios de rayos X según la invención, en los que la sección de la pista focal está presente en una estructura no recristalizada y/o en una estructura parcialmente recristalizada, esta relación es claramente mayor que en ánodos giratorios de rayos X fabricados de manera convencional como compuesto mediante pulvimetalurgia. En particular, esta relación disminuye con el grado de recristalización creciente. Por consiguiente, esta relación es una variable caracterizadora de la pista focal, estando presentes en una medida particular las propiedades preferidas (granularidad fina, rugosidad pequeña) de la pista focal, que se describen arriba, en caso de valores superiores de esta relación. En particular, esta relación es ≥ 7 . Cuando existe un grado de deformación bajo, esta relación puede presentar también un valor inferior a 5. En particular, esta relación es ≥ 4 o $\geq 3,5$, consiguiéndose el intervalo de estos valores límites

inferiores en particular en ánodos giratorios de rayos X con grado de deformación bajo (por ejemplo, un grado de deformación (total) de 20 a 30 %). No obstante, estos valores límites inferiores son también más grandes que en ánodos giratorios de rayos X, fabricados de manera convencional como compuesto mediante pulvimetalurgia.

5 Según una variante, la sección de la pista focal presenta una dureza de ≥ 350 HV 30. Como se explica arriba, esta dureza alta es ventajosa en particular para evitar una rugosidad y/o deformación de la pista focal durante su período de uso. En las indicaciones de dureza realizadas en el marco de esta descripción se hace referencia respectivamente a una determinación de dureza de acuerdo con la norma DIN EN ISO 6507-1, debiéndose usar en particular un tiempo de aplicación de carga de 2 segundos (2 a 8 segundos según la norma DIN EN ISO 6507-1) y un tiempo de actuación o tiempo de mantenimiento de carga de 10 segundos (10 a 15 segundos según la norma DIN EN ISO 6507-1). Una desviación de este tiempo de aplicación de carga y tiempo de actuación puede repercutir sobre el valor de medición obtenido en particular en el caso del molibdeno y de aleaciones a base de molibdeno. La medición de la dureza (tanto en la pista focal como en el cuerpo de soporte) se ejecuta en particular en una superficie de sección transversal radial del ánodo giratorio de rayos X, que discurre en perpendicular al plano de la pista focal.

Según una variante, la sección de la pista focal está presente por completo en una estructura parcialmente recristalizada. En particular, toda la pista focal está presente por completo en una estructura parcialmente recristalizada. Según una variante, en la estructura parcialmente recristalizada, los granos de cristal resultantes de la nueva formación de grano están rodeados por una estructura de deformación y estos granos de cristal tienen respecto a una superficie de sección transversal a través de la estructura parcialmente recristalizada una superficie en el intervalo de 10 % a 80 %, en particular en un intervalo de 20 % a 60 %. Dentro de estos intervalos y en particular dentro del intervalo más estrecho se pudieron conseguir buenas propiedades de la pista focal en relación con la calidad de su superficie y el rendimiento de dosis, incluso durante largos períodos de uso. El procedimiento para determinar el porcentaje de superficie, aplicable para el intervalo de valores indicados, se explica con referencia a las figuras (véase en particular la descripción de las figuras 4A-4D). De manera alternativa a las variantes explicadas arriba puede estar previsto también que la sección o, dado el caso, también la pista focal esté presente en una estructura no recristalizada. Según otra variante está previsto en general (independientemente de si la sección está presente en una estructura parcialmente recristalizada y/o en una estructura no recristalizada) que el porcentaje de superficie (de los granos de cristal resultantes de la nueva formación de grano) sea ≤ 80 %, en particular ≤ 60 %.

Según la presente invención, la sección de la pista focal tiene una distancia de límite de grano de ángulo pequeño promedio de ≤ 10 μm . La distancia de límite de grano de ángulo pequeño promedio se puede determinar aquí mediante un procedimiento de medición, en el que en una zona de la sección de la pista focal se determinan límites de grano, secciones de límite de grano y límites de grano de ángulo pequeño con un ángulo de límite de grano de $\geq 5^\circ$ en una superficie de sección transversal radial que discurre en perpendicular al plano de la pista focal, para la determinación de la distancia de límite de grano de ángulo pequeño promedio en paralelo al plano de la pista focal se coloca en el patrón de límite de grano resultante de esta manera un grupo de líneas que discurre en paralelo a la superficie de sección transversal y está formado por líneas que discurren respectivamente en paralelo al plano de la pista focal y presentan en cada caso una distancia respectiva entre sí de 17,2 μm , en las líneas individuales se determinan respectivamente las distancias entre dos puntos de intersección contiguos entre sí de la respectiva línea con líneas del patrón de límite de grano y el valor promedio de estas distancias se determina como distancia de límite de grano de ángulo pequeño promedio en paralelo al plano de la pista focal, para la determinación de la distancia de límite de grano de ángulo pequeño promedio en perpendicular al plano de la pista focal se coloca en el patrón de límite de grano resultante un grupo de líneas que discurre en paralelo a la superficie de sección transversal y está formado por líneas que discurren respectivamente en perpendicular al plano de la pista focal y presentan en cada caso una distancia respectiva entre sí de 17,2 μm , en las líneas individuales se determinan respectivamente las distancias entre dos puntos de intersección contiguos entre sí de la respectiva línea con líneas del patrón de límite de grano y el valor promedio de estas distancias se determina como distancia de límite de grano de ángulo pequeño promedio en perpendicular al plano de la pista focal y la distancia de límite de grano de ángulo pequeño promedio se determina como valor promedio geométrico de la distancia de límite de grano de ángulo pequeño promedio en paralelo al plano de la pista focal y de la distancia de límite de grano de ángulo pequeño promedio en perpendicular al plano de la pista focal. Otros detalles sobre la ejecución del procedimiento de medición se indican en la descripción de las figuras 4A-4D. Tal estructura de grano fino, que presenta una distancia de límite de grano de ángulo pequeño promedio de ≤ 10 μm , es ventajosa en particular para evitar una rugosidad de la superficie de la pista focal. Esta granularidad fina de la estructura depende a su vez del grado de deformación. Por consiguiente, en particular en caso de un alto grado de deformación del ánodo giratorio de rayos X se puede conseguir una distancia de límite de grano de ángulo pequeño promedio con un valor menor. En particular, la distancia de límite de grano de ángulo pequeño promedio es ≤ 5 μm según una variante. En caso de un grado de deformación pequeño del ánodo giratorio de rayos X, la distancia de límite de grano de ángulo pequeño es ligeramente mayor. En particular es ≤ 15 μm según una variante, siendo incluso este valor límite mayor mucho menor que el valor correspondiente en ánodos giratorios de rayos X, fabricados de manera convencional como compuesto mediante pulvimetalurgia.

65

Una variable característica de si y en qué medida está presente una subestructura, es la relación de la distancia de límite de grano (de ángulo grande) promedio (es decir, el ángulo de límite de grano de $\geq 15^\circ$) respecto a la distancia de límite de grano (de ángulo pequeño) promedio (es decir, el ángulo de límite de grano de $\geq 5^\circ$). Mientras mayor es esta relación, menor es el grado de recristalización. Según una variante, esta relación es ≥ 1.2 . En particular, la relación es $\geq 1,5$, más preferentemente ≥ 2 .

Según una variante, la sección de la pista focal presenta en direcciones en paralelo al plano de la pista focal una texturización preferente de la dirección $\langle 101 \rangle$. El grado de recristalización de la pista focal es aquí menor mientras mayor es la texturización preferente de la dirección $\langle 101 \rangle$ en estas direcciones en paralelo al plano de la pista focal. La relación de la texturización preferente de la dirección $\langle 101 \rangle$ en las direcciones en paralelo al plano de la pista focal respecto a las texturizaciones preferentes de la dirección $\langle 111 \rangle$ y de la dirección $\langle 001 \rangle$ se puede evaluar mediante un análisis EBSD (EBSD: Electron Backscatter Diffraction, difracción de electrones por retrodispersión). El análisis EBSD permite determinar texturizaciones preferentes y coeficientes de textura EBSD correspondientes tanto en direcciones en paralelo al plano de la pista focal como en perpendicular al plano de la pista focal, debiéndose examinar al respecto solo una superficie de la muestra (por ejemplo, una superficie de sección transversal, como la representada en la figura 3). La preparación de muestras y el procedimiento de medición se explican en general con referencia a las figuras 4A-4D, no abordándose los detalles relativos a la determinación del coeficiente de textura EBSD (en particular el procesamiento exacto de los valores de medición). Incluso sin la especificación del procedimiento de determinación exacto de los coeficientes de textura EBSD se pueden obtener informaciones sobre la forma de las texturizaciones preferentes en las distintas direcciones (en perpendicular, así como en paralelo al plano de la pista focal) a partir de la comparación de los distintos coeficientes de textura EBSD. A este respecto, en una muestra según la invención se determinó en perpendicular al plano de la pista focal para la dirección $\langle 111 \rangle$ un coeficiente de textura EBSD de 5,5 y para la dirección $\langle 001 \rangle$ un coeficiente de textura EBSD de 5,5. En paralelo al plano de la pista focal se determinó en esta muestra, según la invención, en dirección radial (RD) para la dirección $\langle 110 \rangle$ un coeficiente de textura EBSD de 2,5 y se determinó en dirección tangencial (TD) para la dirección $\langle 110 \rangle$ un coeficiente de textura EBSD de 2,2. Por consiguiente, se puede determinar que la texturización preferente de la dirección $\langle 110 \rangle$ (o de la dirección $\langle 101 \rangle$) en direcciones en paralelo al plano de la pista focal está menos acentuada, en particular en menos de la mitad que las texturizaciones preferentes de la dirección $\langle 111 \rangle$ y de la dirección $\langle 001 \rangle$ en paralelo al plano de la pista focal (esto se confirmó por medio de otras muestras).

Según una variante, la pista focal presenta un grosor (medido en perpendicular al plano de la pista focal) en el intervalo de 0,5 mm a 1,5 mm. Durante el uso ha resultado eficaz en particular un grosor en la zona de 1 mm aproximadamente. Según una variante, la pista focal y/o el cuerpo de soporte presentan una densidad relativa de $\geq 96\%$, en particular de $\geq 98\%$ (respecto a la densidad teórica), lo que es particularmente ventajoso respecto a las propiedades del material y a la conducción de calor. La medición de la densidad se realiza en particular de acuerdo con la norma DIN ISO3369.

Según una variante, al menos una sección del cuerpo de soporte está presente en una estructura no recristalizada y/o en una estructura parcialmente recristalizada (en el ánodo giratorio de rayos X tratado por último con calor). Se ha comprobado que en comparación con cuerpos de soporte de estructura recristalizada, un cuerpo de soporte con estas características presenta en particular en caso de cargas mecánicas altas una alta estabilidad ante deformaciones macroscópicas. Tales cuerpos de soporte son particularmente adecuados en ánodos giratorios de rayos X enfriados de manera activa, en los que la temperatura del cuerpo de soporte (o al menos grandes secciones del mismo) se puede mantener en un intervalo por debajo del umbral de recristalización como resultado del enfriamiento activo. Tales cuerpos de soporte son muy adecuados también para intervalos menores de rendimiento de radiación (el llamado intervalo mid y low-end). Si en el lado trasero del cuerpo de soporte se debe colocar un cuerpo de grafito, éste se coloca preferentemente de tal modo (por ejemplo, mediante unión por difusión) que se evita un calentamiento del cuerpo de soporte (o de partes del mismo) por encima de su umbral de recristalización. Dado que según esta invención, la pista focal está presente al menos por secciones en una estructura no recristalizada y/o en una estructura parcialmente recristalizada, el cuerpo de soporte se puede fabricar también como compuesto durante la fabricación pulvimetalúrgica de manera económica y fácil en una estructura no recristalizada y/o en una estructura parcialmente recristalizada. Según una variante, la sección del cuerpo de soporte presenta una dureza de ≥ 230 HV 10, en particular ≥ 260 HV 10. Estos intervalos son ventajosos para una alta estabilidad del cuerpo de soporte ante deformaciones macroscópicas, garantizándose una estabilidad particularmente alta en el intervalo de mayor dureza.

En correspondencia con la descripción anterior sobre la pista focal, en el cuerpo de soporte (en caso de una determinada composición del mismo) existen también dependencias mutuas de la dureza, del grado de deformación, del grado de recristalización y de la ductilidad. A partir de estas dependencias, un técnico determina qué parámetros de la fabricación pulvimetalúrgica (en particular la temperatura durante la forja, el grado de deformación durante el proceso de forja, la temperatura durante el tratamiento térmico) ha de seleccionar para la respectiva composición del cuerpo de soporte a fin de mantener las características indicadas en relación con el cuerpo de soporte en al menos una sección del mismo. El término "sección" del cuerpo de soporte se refiere en particular a una sección macroscópica coherente (es decir, comprende una pluralidad de límites de grano y/o secciones de límite de grano) del cuerpo de soporte. En este sentido pueden estar presentes también varias de estas secciones con las

propiedades reivindicadas. En particular, el cuerpo de soporte presenta en toda su extensión las propiedades reivindicadas respectivamente.

5 Otra ventaja de esta variante es que se pueden usar materiales y combinaciones de materiales clásicos para el cuerpo de soporte, lo que resulta ventajoso en particular respecto a los costes de producción y los gastos. No son necesarios el uso de aleaciones especiales y/o la adición de impurezas atómicas o partículas al material del cuerpo de soporte para aumentar su dureza y resistencia. Según una variante, el cuerpo de soporte está formado por una aleación a base de molibdeno, cuyos otros componentes de aleación (aparte de impurezas generadas, por ejemplo, por el oxígeno) se forman mediante al menos un elemento del grupo Ti (Ti: titanio), Zr (Zr: zirconio), Hf (Hf: hafnio) y
10 mediante al menos un elemento del grupo C (C: carbono), N (N: nitrógeno). En principio, el porcentaje de oxígeno deberá ser aquí lo más bajo posible. Según una variante, el material del cuerpo de soporte se forma mediante una aleación de molibdeno, identificada como TZM, que está indicada en el estándar ASTM B387-90 para la fabricación pulvimetalúrgica. La aleación TZM presenta en particular un porcentaje de Ti (Ti: titanio) de 0,40-0,55 % en peso, un porcentaje de Zr (Zr: zirconio) de 0,06-0,12 % en peso, un porcentaje de C (C: carbono) de 0,010-0,040 % en peso, un porcentaje de O (O: oxígeno) inferior a 0,03 % en peso y el porcentaje restante (aparte de impurezas) de Mo (Mo: molibdeno). Según una variante, el material del cuerpo de soporte se forma mediante una aleación de molibdeno que presenta un porcentaje de Hf (Hf: hafnio) de 1,0 a 1,3 % en peso, un porcentaje de C de 0,05-0,12 % en peso, un porcentaje de O inferior a 0,06 % en peso y el porcentaje restante (aparte de impurezas) de molibdeno (esta aleación se identifica en parte también como MHC). En ambas composiciones, el oxígeno crea impurezas, cuyo porcentaje se ha de mantener lo más bajo posible. Las composiciones mencionadas han resultado muy adecuadas en relación con una buena conducción de calor y la manipulación durante la fabricación.

Según una variante, la sección del cuerpo de soporte presenta en perpendicular al plano de la pista focal una texturización preferente de la dirección $\langle 111 \rangle$ y de la dirección $\langle 001 \rangle$. Según una variante, la sección del cuerpo de soporte presenta en direcciones en paralelo al plano de la pista focal una texturización preferente de la dirección $\langle 101 \rangle$. Las texturizaciones preferentes indicadas se ajustan durante el proceso de forja, como se explica arriba con respecto a la pista focal. Éstas se reducen nuevamente con el grado de recristalización creciente. A partir de estas dependencias, un técnico determina a su vez (en correspondencia con las explicaciones anteriores sobre la pista focal) qué parámetros de la fabricación pulvimetalúrgica ha de seleccionar para la respectiva composición del cuerpo de soporte a fin de mantener la texturización preferente indicada en al menos una sección del cuerpo de soporte. Según una variante, la sección del cuerpo de soporte presenta en perpendicular al plano de la pista focal una texturización preferente de la dirección $\langle 111 \rangle$ con un coeficiente de textura $TC_{(222)}$, determinable por difracción de rayos X, de ≥ 5 y de la dirección $\langle 001 \rangle$ con un coeficiente de textura $TC_{(200)}$, determinable por difracción de rayos X, de ≥ 5 . Según una variante, estos coeficientes de textura $TC_{(222)}$ y $TC_{(200)}$ son respectivamente al menos de ≥ 4 (pudiéndose conseguir el intervalo directamente por encima de este valor límite bajo en particular con un grado de deformación bajo). En relación con una alta dureza y estabilidad del cuerpo de soporte resulta ventajoso un grado de recristalización bajo y, por consiguiente, una gran acentuación de las texturizaciones preferentes. Por tanto, según una variante, los coeficientes de textura $TC_{(222)}$ y $TC_{(200)}$ son respectivamente al menos de $\geq 5,5$.

40 En el proceso de forja, la fuerza actúa esencialmente en perpendicular al plano de la pista focal. Durante el proceso de fabricación, esta dirección de actuación de la fuerza se encuentra, por lo general, esencialmente en paralelo al eje de simetría rotacional (futuro) del ánodo giratorio de rayos X. Si el plano de la pista focal está configurado esencialmente de manera plana, se mantiene entonces dicha simetría. Por el contrario, si el plano de la pista focal no está configurado de manera plana, sino, por ejemplo, con una forma troncocónica (véase, por ejemplo, figura 3), la sección circunferencial exterior se va a doblar generalmente en un ángulo deseado (por ejemplo, en el intervalo de 8° a 12°) después o durante el proceso de forja. Se mantiene entonces la textura de la pista focal y del cuerpo de soporte que se ha ajustado durante la forja. Por consiguiente, en relación con la textura del cuerpo de soporte se hace referencia también al plano de la pista focal (o a la superficie límite entre la pista focal y el cuerpo de soporte). Como resultado del cambio de forma descrito en caso de una pista focal acodada, la textura del cuerpo de soporte puede diferir ligeramente en una zona central (en una zona central es decisivo, de hecho, un plano que discurre en perpendicular al eje de simetría rotacional, en lugar del plano de la pista focal).

Según una variante, la sección del cuerpo de soporte presenta a temperatura ambiente un alargamiento de rotura de $\geq 2,5$ %. En particular, la sección del cuerpo de soporte presenta a temperatura ambiente un alargamiento de rotura de ≥ 5 %. En el caso del alargamiento de rotura se ha de tener en cuenta a su vez que con el grado creciente de cristalización del cuerpo de soporte aumenta su ductilidad y, por tanto, su alargamiento de rotura a temperatura ambiente. A partir de esta dependencia, el técnico puede seleccionar adecuadamente los parámetros de la fabricación pulvimetalúrgica (en particular la duración y la temperatura del tratamiento térmico o de los tratamientos térmicos), de modo que se consiguen los respectivos intervalos de valores del alargamiento de rotura. El procedimiento de medición, que corresponde a los datos sobre el alargamiento de rotura, se ha de ejecutar de acuerdo con la norma DIN EN ISO6892-1, usándose en cada caso una muestra como muestra de medición que discurre radialmente en el cuerpo de soporte. En este caso se ha de aplicar en particular el procedimiento B descrito en la norma DIN EN ISO6892-1 y basado en la velocidad de tensión.

65

La presente invención se refiere también al uso de un ánodo giratorio de rayos X, según la invención, que puede estar configurado, dado el caso, de acuerdo con una o varias de las configuraciones y/o variantes descritas arriba, en un tubo de rayos X para la generación de rayos X.

- 5 La presente invención se refiere también a un procedimiento para la fabricación de un ánodo giratorio de rayos X según la invención, como se define en la reivindicación 14.

El proceso de prensado y sinterización tiene lugar aquí de modo que se obtiene un cuerpo sinterizado denso y homogéneo (a continuación: cuerpo) (como es conocido en la técnica). El cuerpo sinterizado presenta en particular
10 una densidad relativa de ≥ 94 % (respecto a la densidad teórica). El ánodo giratorio de rayos X según la invención, que se explica arriba, se puede obtener en particular mediante el procedimiento de fabricación indicado. El procedimiento puede presentar también otras etapas. En particular puede estar previsto que las etapas de forja y tratamiento térmico se ejecuten varias veces de manera consecutiva. El último tratamiento térmico se puede ejecutar en particular al vacío. Según una variante, está previsto que la forja se ejecute a elevadas temperaturas para reducir
15 suficientemente la resistencia a la deformación del material y que a continuación del proceso de forja se ejecute adicionalmente un tratamiento térmico (recocido de eliminación de tensiones).

Según una variante, el tratamiento térmico se realiza (durante la forja y/o durante un tratamiento térmico a continuación del proceso de forja) a temperaturas por debajo de la temperatura de recristalización, en particular a
20 temperaturas en el intervalo del umbral de recristalización de la pista focal. Según una variante, el tratamiento térmico (durante la forja y/o durante el tratamiento térmico a continuación del proceso de forja) se realiza a temperaturas por debajo de la temperatura de recristalización del cuerpo de soporte, en particular a temperaturas en el intervalo del umbral de recristalización del cuerpo de soporte. La temperatura de recristalización depende, entre otros, de la respectiva composición (del material), así como del grado de deformación del respectivo material.
25 Mientras mayor es el grado de deformación, menor es la temperatura de recristalización. En dependencia de la forma del ánodo giratorio de rayos X pueden existir también intervalos de grado de deformación diferente. Según una variante, el tratamiento térmico se ejecuta a temperaturas ≤ 1.500 °C, en particular a temperaturas en un intervalo de 1.300 a 1.500 °C. Estas temperaturas son adecuadas en particular en un cuerpo de soporte fabricado de
30 TZM o a partir de una composición concreta, indicada arriba, de Mo, Hf, C y O para conseguir las propiedades deseadas tanto en la pista focal como en el cuerpo de soporte. Un tratamiento térmico, ejecutado después del proceso de forja, tiene en particular una duración de pocas horas, por ejemplo, en el intervalo de 1 a 5 horas.

Según una variante, el cuerpo forjado presenta después de finalizar la forja un grado de deformación de al menos 20
35 %, en particular en el intervalo de 20 % a 60 %. Sin embargo, son posibles también grados de deformación de hasta 80 %. La fuerza actúa durante la forja en particular en paralelo al eje de simetría rotacional del ánodo giratorio de rayos X, que está orientado de manera exacta o esencialmente en perpendicular al plano o los planos de la pista focal. Como grado de deformación se identifica aquí la relación entre el cambio de altura del respectivo cuerpo, obtenido en paralelo a la dirección de actuación de la fuerza, y su altura inicial (a lo largo de la dirección de
40 actuación de la fuerza).

Otras ventajas y utilidades de la invención se derivan de la siguiente descripción de ejemplos de realización con referencia a las figuras adjuntas. Las figuras muestran:

- Fig. 1A-1C representaciones esquemáticas para mostrar diferentes grados de recristalización;
45 Fig. 2 un diagrama esquemático para mostrar el perfil de dureza en dependencia de la temperatura de un tratamiento térmico;
Fig. 3 una vista esquemática de la sección transversal de un ánodo giratorio de rayos X;
Fig. 4A-4D una representación esquemática para mostrar un análisis EBSD;
Fig. 5A-5C figuras de polo inversas de la pista focal de un ánodo giratorio de rayos X, según la invención, a lo largo
50 de direcciones diferentes;
Fig. 6 figura de polo inversa de una pista focal, aplicada mediante CVD; y
Fig. 7 figura de polo inversa de una pista focal, aplicada mediante proyección por plasma al vacío.

La explicación siguiente de las figuras 1A-1C y 2 muestra criterios que permiten diferenciar entre sí una estructura
55 no recristalizada, una estructura parcialmente recristalizada y una estructura (completamente) recristalizada. Por medio de estas figuras se explican también parámetros, mediante los que se puede indicar el grado de recristalización. Estas explicaciones se aplican tanto a la pista focal como al cuerpo de soporte. En las figuras 1A-1C están representadas de manera esquemática estructuras (a escala muy ampliada), como las que se pueden
60 representar, por ejemplo, en una microfotografía electrónica de una superficie desbastada, preparada de manera correspondiente, en particular durante un análisis EBSD (EBSD: Electron Backscatter Diffraction, difracción de electrones por retrodispersión). Un procedimiento adecuado para la preparación de muestras, una disposición de medición adecuada y un procedimiento de medición adecuado se explican con referencia a las figuras 4A-4D. Como es conocido en el campo especializado, los límites de grano o las secciones de límite de grano (así como, dado el caso, también los límites de grano de ángulo pequeño) y las dislocaciones se pueden visualizar en esta
65 microfotografía electrónica. A tal efecto, es necesario indicar un ángulo de rotación mínimo, a partir del que se registra un límite de grano. En las figuras 1A-1C se asume (aparte de la sección representada por separado en la

figura 1B) que se indicó un ángulo de rotación mínimo de 15°, de modo que es visible el perfil de los límites de grano de ángulo grande (o de las secciones de límite de grano). Partiendo de una dureza inicial -AH- que se obtiene durante la fabricación pulvimetalúrgica después del proceso de forja (dureza inicial -AH- de la estructura de deformación), en la figura 2 está representada de manera esquemática la dependencia de la dureza de la temperatura -T- de un tratamiento térmico siguiente (recocido de eliminación de tensiones) que se ejecuta durante un período de tiempo predeterminado -t-, por ejemplo, una hora. Si el tratamiento térmico se ejecuta durante un período de tiempo predeterminado más largo, la etapa representada en la figura 2 se desplaza más hacia la izquierda (es decir, hacia temperaturas menores), mientras que en caso de un período de tiempo más corto se desplaza más hacia la derecha (es decir, hacia temperaturas mayores).

En la figura 1A está representada una pura estructura de deformación, como la obtenida, por ejemplo, después de un proceso de forja (ejecutado durante la fabricación pulvimetalúrgica). Como es conocido en el campo especializado, tal estructura de deformación no presenta límites de grano circunferenciales claros alrededor de granos de cristal correspondientes. Más bien, se pueden identificar solo secciones de límite de grano -2- que presentan respectivamente un comienzo abierto y/o un final abierto. En parte se pueden identificar también secciones de los límites de grano de los granos originales del cuerpo sinterizado (en dependencia del grado de deformación durante el proceso de forja). Asimismo, a causa de la deformación (proceso de forja) se forman dislocaciones -4-, representadas en las figuras 1A y 1B mediante el símbolo "⊥", y secciones de límite de grano nuevas -2-. Los granos originales del cuerpo sinterizado, si se pueden identificar aún, están muy aplastados y distorsionados debido a la deformación. La estructura de deformación presenta también una subestructura que se puede visualizar durante un análisis EBSD de la respectiva superficie desbastada al ajustarse un ángulo de rotación mínimo menor. Esta subestructura de la estructura de deformación se explica más adelante con referencia a la figura 1B. Con el grado de deformación creciente desaparecen los límites de grano originales (de los granos del cuerpo sinterizado) por secciones o incluso por completo. La intensidad y la frecuencia de estas características típicas de la estructura de deformación dependen aquí, entre otros, de la composición (del material) y del grado de deformación. En particular se ha de tener en cuenta que con el incremento del grado de deformación se originan de manera creciente secciones de límite de grano de ángulo pequeño y aumenta también la frecuencia de las secciones de límite de grano de ángulo grande. Una determinación del tamaño de grano promedio, que se realiza regularmente en el caso de estructuras uniformes según el estándar ASTM E 112-96, no es posible, porque solo se pueden identificar secciones de límite de grano (al menos en presencia de un ángulo de rotación mínimo de 15°).

En la estructura de deformación tienen lugar, por lo general, procesos de recuperación que aumentan con el incremento de la temperatura. Tales procesos de recuperación, que se pueden identificar, por ejemplo, en la desaparición y/o el ordenamiento de dislocaciones, no requieren energía de activación. Estos procesos de recuperación provocan una disminución de la dureza. En este intervalo -EH- de los procesos de recuperación (intervalo hasta T_1 en la figura 2), la dureza disminuye de manera continua con la temperatura creciente, siendo relativamente plana la pendiente en este intervalo -EH- (véase la figura 2). A partir de una determinada temperatura T_1 se puede aplicar la energía de activación requerida para una nueva formación de grano durante la recrystalización. Esta temperatura - T_1 - depende, entre otros, de la composición y del grado de deformación de la estructura de deformación, así como de la duración del tratamiento térmico, ejecutado en cada caso. Si se produce una recrystalización, está presente (en primer lugar) una estructura parcialmente recrystalizada. En la figura 1B está representada una estructura parcialmente recrystalizada que presenta algunos granos de cristal -6-, resultantes de la nueva formación de grano. Los granos de cristal (o cristalitas) -6- presentan respectivamente límites de grano circunferenciales -8-, que se pueden representar, por ejemplo, en una microfotografía electrónica de una superficie desbastada, que se ha preparado de manera correspondiente, en particular durante un análisis EBSD (EBDS: Electron Backscatter Diffraction, difracción de electrones por microdispersión). El porcentaje restante (o el porcentaje que rodea los granos de cristal -6-) de la estructura parcialmente recrystalizada sigue estando presente en la estructura de deformación. Debido a la nueva formación de grano, así como en parte debido a procesos de recuperación desaparecen de manera creciente las dislocaciones -4- que se producen en la estructura de deformación.

Como ya se mencionó, otra característica de la estructura de deformación es que presenta una subestructura. Tal subestructura se puede visualizar durante un análisis EBSD mediante la especificación de un ángulo de rotación mínimo menor, por ejemplo, un ángulo de rotación mínimo de 5° (o, dado el caso, también un ángulo aún menor). De esta manera se pueden identificar también, además de los límites de grano de ángulo grande (secciones de límite de grano -2- y límites de grano circunferenciales -8-), los límites de grano de ángulo pequeño -9-, que forman la subestructura. Esto aparece representado en la figura 1B en el cuadro inferior, en el que aparece representada a escala ampliada una sección de la estructura mostrada en el cuadro superior. Los límites de grano de ángulo pequeño -9- de la subestructura están dibujados con líneas más finas en esta representación. Como se puede observar en esta representación, los límites de grano de ángulo grande de las secciones de límite de grano -2- se prolongan en parte mediante límites de grano de ángulo pequeño -9-. Los granos de cristal -6-, resultantes de la nueva formación de grano, están libres aquí de la subestructura. En el caso del ánodo giratorio de rayos X, según la invención, la subestructura -9- de la estructura de deformación están configura en particular con grano fino.

Con la recrystalización, que tiene lugar de manera creciente y aumenta con la temperatura (y también con el tiempo) del tratamiento térmico, disminuye extremadamente la dureza (véase figura 2). En la figura 2, el gráfico con una

caída inicialmente plana pasa a una zona con una pendiente de caída pronunciada a partir de la temperatura $-T_1-$. La zona de transición entre la sección de caída plana y la sección de caída pronunciada del gráfico, en particular el punto con la curvatura máxima, se identifica como umbral de recristalización -RKS- (véase figura 2). Con el grado de recristalización creciente se amplían los granos de cristal resultantes de la nueva formación de grano, se forman otros granos de cristal mediante la nueva formación de grano y desaparece de manera creciente la estructura de deformación. En particular, la estructura de deformación “se consume” de manera creciente mediante los granos de cristal resultantes de la nueva formación de grano. Al seguir aumentando el grado de recristalización, los límites de grano de los granos de cristal resultantes de la nueva formación de grano chocan entre sí y ocupan también finalmente (al menos en gran medida) el resto de los espacios intermedios. En esta etapa se vuelve a ralentizar el crecimiento de cristal y la pendiente del gráfico se aplanan en la figura 2. Se alcanza un estado, en el que la recristalización ha finalizado hasta un 99 %, en particular en el que los granos de cristal resultantes de la nueva formación de grano presentan una superficie de 99 % con respecto a una superficie de sección transversal a través de la estructura. La temperatura de recristalización, que corresponde a $-T_2-$ en la figura 2 (el tratamiento térmico demora una hora en la figura 2), se define aquí de tal modo que después de un tratamiento térmico de una hora a esta temperatura de recristalización finaliza el 99 % de la recristalización. La zona -RK-, que se extiende de la temperatura $-T_1-$ a la temperatura de recristalización $-T_2-$, se identifica como zona de recristalización, porque dentro de la misma se desarrollan procesos de recristalización en una medida considerable. Por último, el gráfico pasa a una zona -EB-, en la que ya no desciende o desciende solo de manera muy plana. En esta zona sigue creciendo el grano, pero no tiene lugar una recristalización o tiene lugar solo una recristalización en un grado muy pequeño (en particular del uno por ciento restante de la estructura).

En la figura 1C está representada una idealizada estructura completamente recristalizada. Los límites de grano de los granos de cristal resultantes de la nueva formación de grano colindan directamente uno con otro. La estructura de deformación original ha desaparecido por completo. En la figura 1C está representado el “caso ideal” de una estructura completamente recristalizada, porque los límites de grano colindan respectivamente uno con otro a lo largo de toda su dirección de extensión.

En la figura 3 está representada esquemáticamente la estructura de un ánodo giratorio de rayos X -10-, configurado con simetría rotacional respecto a un eje de simetría rotacional -12-. El ánodo giratorio de rayos X -10- presenta un cuerpo de soporte -14- en forma de plato que se puede montar en un árbol correspondiente. En el lado superior está colocada sobre el cuerpo de soporte -14- una pista focal anular -16-, que tiene forma troncocónica (un cono plano) en la realización representada. La pista focal -16- cubre al menos una zona del cuerpo de soporte -14-, que es recorrida por un rayo de electrones durante el uso. Por lo general, la pista focal -16- cubre una zona del cuerpo de soporte mayor que la del recorrido del rayo de electrones. La forma exterior y la estructura del ánodo giratorio de rayos X -10- pueden diferir del ánodo giratorio de rayos X representado, como es conocido en el campo especializado. Como se puede observar en la figura 3, el porcentaje (macroscópico) de la estructura no recristalizada y/o parcialmente recristalizada (tanto en la pista focal como en el cuerpo de soporte) se puede determinar en general al examinarse una superficie de sección transversal radial (es decir, que discurre a través del eje de simetría rotacional -12-) y que discurre en perpendicular al plano de la pista focal, para definir las zonas que están presentes en una estructura no recristalizada y/o en una estructura parcialmente recristalizada.

Con referencia a las figuras 4A-4D se explica a continuación un análisis EBSD (EBSD: Electron Backscatter Diffraction, difracción de electrones por retrodispersión) que se ejecuta con un microscopio electrónico de barrido. Durante este análisis EBSD se puede realizar una caracterización de la respectiva estructura a un nivel microscópico. En particular, durante tal análisis EBSD se puede determinar la granularidad fina de la respectiva estructura, la presencia y la extensión de subestructuras, el porcentaje de granos finos, resultantes de la nueva formación de grano, en una estructura parcialmente recristalizada, así como las texturizaciones preferentes que se originan en la estructura. A tal efecto, durante la preparación de la muestra se crea a través del ánodo giratorio de rayos X una superficie de sección transversal que discurre radial y perpendicularmente al plano de la pista focal (en correspondencia con la superficie de sección transversal representada en la figura 3). La preparación de una superficie desbastada correspondiente se realiza en particular mediante encaje, desbaste, pulido y ataque químico de al menos una sección de la superficie de sección transversal obtenida del ánodo giratorio de rayos X, sometiéndose también a continuación la superficie a un pulido iónico (para eliminar la estructura de deformación, resultante del proceso de desbaste, sobre la superficie). A este respecto, la superficie desbastada a examinar se puede seleccionar en particular de tal modo que presenta una sección de la pista focal y una sección del cuerpo de soporte del ánodo giratorio de rayos X, siendo posible así examinar las dos secciones. La disposición de medición es tal que el rayo de electrones impacta en un ángulo de 20° sobre la superficie desbastada preparada. En el caso del microscopio electrónico de barrido (en el presente caso: Carl Zeiss “Ultra 55 plus”), la distancia entre la fuente de electrones (en el presente caso: cátodo de emisión de campo) y la muestra es de 16,2 mm y la distancia entre la muestra y la cámara EBSD (en el presente caso: “DigiView IV”) es de 16 mm. Los datos indicados entre paréntesis se refieren a los tipos de equipo usados por el solicitante, pudiéndose usar en principio también, de manera correspondiente, otros tipos de equipo que cumplan las funciones descritas. La tensión de aceleración es de 20 kV, se ajusta una ampliación de 50 veces y la distancia de los píxeles individuales en la muestra, que se exploran sucesivamente, es de 4 μm .

Los píxeles individuales -17- están dispuestos uno respecto a otro en triángulos equiláteros, estando en correspondencia la longitud de los lados de un triángulo en cada caso con la distancia de trama -18- de $4\ \mu\text{m}$ (véase figura 4A). Las informaciones sobre un píxel individual -17- proceden de un volumen de la respectiva muestra que presenta una superficie con un diámetro de 50 nm (nanómetro) y una profundidad de 50 nm. La información de un píxel se representa a continuación en forma de un hexágono -19- (dibujado con líneas discontinuas en la figura 4A), cuyos lados forman respectivamente las mediatrices entre el píxel -17- en cuestión y los (seis) píxeles -17- más próximos en cada caso. La superficie de muestra examinada -21- es en particular de $1.700\ \mu\text{m}$ por $1.700\ \mu\text{m}$. Según la representación de la figura 4B, ésta comprende en el presente caso en una mitad superior una sección de pista focal -22- (en la sección transversal) de aproximadamente $850\ \text{por}\ 1.700\ \mu\text{m}^2$ y comprende en la mitad inferior una sección de cuerpo de soporte -24- (en la sección transversal) de aproximadamente $850\ \text{por}\ 1.700\ \mu\text{m}^2$. La superficie límite -26- (entre la pista focal y el cuerpo de soporte) discurre aquí en paralelo al plano de la pista focal y centralmente a través de la superficie de muestra examinada -21- (en paralelo a sus lados respectivamente). Asimismo, ésta discurre en paralelo a la dirección radial -RD- (véase, por ejemplo, la dirección -RD- en las figuras 3, 4B). Como se explica arriba con referencia a la figura 4A, la superficie de muestra examinada -21- se explora con una trama de $4\ \mu\text{m}$.

Para determinar la distancia de límite de grano promedio (o la distancia de límite de grano de ángulo pequeño) se visualizan durante el análisis EBSD límites de grano y secciones de límite de grano con un ángulo de límite de grano, mayor o igual que un ángulo de rotación mínimo, dentro de la superficie de muestra examinada -21-. En el presente caso se ajusta un ángulo de rotación mínimo de 15° en el microscopio electrónico de barrido para determinar la distancia de límite de grano promedio. La sección examinada del ánodo giratorio de rayos X presenta un grado de deformación (total) de 60 %. En este sentido se ha de tener en cuenta que debido a la alta dureza de la pista focal, el grado de deformación (local) de la pista focal es menor en sí, mientras que el grado de deformación (local) del cuerpo de soporte es mayor al menos por secciones. En particular, el grado de deformación del cuerpo de soporte aumenta desde la pista focal en una dirección en perpendicular al plano de la pista focal hacia abajo. Por consiguiente, el resultado del examen va a depender respectivamente del grado de deformación (total) de la sección examinada, así como de la posición de la superficie de muestra examinada -21-. Sobre la base de la posición explicada de la superficie de muestra examinada -21- en la zona de la superficie límite -26-, tanto la sección de pista focal examinada -22- como la sección de cuerpo de soporte examinada -24- están separadas en menos de 1 mm de la superficie límite -26- (esto es relevante en particular con respecto al cuerpo de soporte, en el que en dependencia de la altura, es decir, en una dirección en paralelo al eje de simetría rotacional, se originan grados de deformación diferentes). Mediante el microscopio electrónico de barrido se determinan y representan dentro de la superficie de muestra examinada -21- límites de grano o secciones de límite de grano entre dos puntos de trama -17- cuando entre los dos puntos de trama -17- se comprueba una diferencia de orientación de las respectivas redes de $\geq 15^\circ$ (si se ajusta otro ángulo de rotación mínimo, esto último va a ser determinante). Como diferencia de orientación se usa en cada caso el ángulo mínimo necesario para transferir una a otra las respectivas redes cristalinas, presentes en los respectivos puntos de trama -17- a comparar. Este proceso se ejecuta en cada punto de trama -17- con respecto a todos los puntos de trama que lo rodean (es decir, con respecto a seis puntos de trama circundantes en cada caso). En la figura 4A está representada a modo de ejemplo una sección de límite de grano -20-. De esta manera, dentro de la superficie de muestra examinada -21- se obtiene un patrón de límite de grano -32- que en caso de una estructura parcialmente recristalizada (con un ángulo de rotación mínimo de 15°) se forma mediante secciones de límite de grano y límites de grano circunferenciales. Esto aparece representado esquemáticamente en las figuras 4C y 4D para una sección -28- de la pista focal. Si se ajusta un ángulo de rotación mínimo de 5° , se pueden visualizar adicionalmente también los límites de grano de ángulo pequeño de la subestructura (que están representados en las figuras 4C y 4D).

A continuación se explica la determinación de la distancia de límite de grano promedio del material de la pista focal en paralelo al plano de la pista focal. Para determinar la distancia de límite de grano del material de la pista focal se evalúa respectivamente solo la sección de pista focal -22- de aproximadamente $850\ \text{por}\ 1.700\ \mu\text{m}^2$ de la superficie de muestra examinada -21-. En el caso del procedimiento explicado aquí se determina la distancia de límite de grano promedio a lo largo de la dirección -RD-, es decir, a lo largo de una dirección que discurre en paralelo al plano de la pista focal (o a la superficie límite -26- en la figura 4B) o esencialmente en sentido radial. A tal efecto, dentro de la superficie de muestra examinada -21- (que presenta una superficie de $1.700\ \text{x}\ 1.700\ \mu\text{m}^2$), en el patrón de límite de grano -32- se sitúa un grupo -34- de 98 líneas con una longitud respectivamente de $1.700\ \mu\text{m}$ y una distancia relativa de $17,2\ \mu\text{m}$ ($1.700\ \mu\text{m} / 99$). Esto aparece representado de manera esquemática en la figura 4C para una sección -28- de la pista focal, que se encuentra situada dentro de la sección de pista focal examinada -22-. El grupo de líneas -34- discurre aquí en paralelo a la superficie examinada (o la superficie de sección transversal) y las líneas individuales discurren respectivamente en paralelo a la dirección -RD-. En las líneas individuales se determinan en cada caso las distancias entre dos puntos de intersección contiguos entre sí respectivamente de la línea en cuestión con líneas del patrón de límite de grano -32-. En las zonas, en las que el extremo de una línea no forma un punto de intersección con una línea del patrón de límite de grano -32- (es decir, forma un extremo abierto, porque alcanza el límite de la sección de pista focal examinada -22-), la longitud de la sección desde el extremo de línea hasta el primer punto de intersección con una línea del patrón de límite de grano -32- se evalúa como grano de cristal medio. La frecuencia de las distintas distancias, determinadas dentro de la sección de pista focal -22- (aproximadamente $850\ \text{x}\ 1.700\ \mu\text{m}^2$), se evalúa y a continuación se forma un valor promedio de las distancias (que corresponde a la

suma de las distancias detectadas, dividida entre la cantidad de distancias medidas). El procedimiento descrito para la determinación de la distancia de límite de grano promedio se identifica también como “intercept length” (longitud de intercepción. La determinación de la distancia de límite de grano promedio en perpendicular al plano de la pista focal, es decir, a lo largo de la dirección -ND-, se realiza de manera correspondiente dentro de la sección de pista focal -22-. A su vez, en el patrón de límite de grano -32- se coloca un grupo -36- de líneas (nuevamente 98 líneas). El grupo de líneas -36- discurre aquí en paralelo a la superficie examinada (o la superficie de sección transversal) y las líneas individuales discurren respectivamente en paralelo a la dirección -ND-. Esto aparece representado también esquemáticamente en la figura 4D para la sección -28-. Las distancias se evalúan en correspondencia con lo explicado arriba. Por tanto, se puede indicar una medida para la granularidad fina de la estructura que se forma a partir de límites de grano (de ángulo grande) y secciones de límite de grano (de ángulo grande). La distancia de límite de grano promedio en paralelo al plano de la pista focal es aquí, por lo general, mayor que la distancia de límite de grano promedio en perpendicular al plano de la pista focal. Este efecto está condicionado por la actuación de la fuerza en perpendicular al plano de la pista focal durante el proceso de forja. La distancia de límite de grano promedio d se puede determinar a continuación a partir de la distancia de límite de grano promedio en paralelo al plano de pista focal d_p y de la distancia de límite de grano promedio en perpendicular al plano de pista focal d_s , como resulta evidente de la ecuación siguiente:

$$d = \sqrt{d_p \cdot d_s}$$

De manera correspondiente, la distancia de límite de grano (de ángulo pequeño) promedio de la sección de la pista focal se puede determinar en paralelo, así como en perpendicular al plano de la pista focal con la especificación de un ángulo de rotación mínimo de 5°. A partir de esto se puede determinar a su vez la distancia de límite de grano de ángulo pequeño promedio de acuerdo con la fórmula indicada arriba. Mediante la especificación de un ángulo de rotación mínimo de 5° se tienen en cuenta adicionalmente los límites de grano de ángulo pequeño de la subestructura (existente en la estructura de deformación). De esta manera se puede indicar una medida para la granularidad fina de la estructura que se forma a partir de límites de grano (de ángulo grande), secciones de límite de grano (de ángulo grande) y límites de grano de ángulo pequeño.

El grado de recristalización se puede determinar a nivel microscópico al determinarse en una microsección, como aparece representado esquemáticamente, por ejemplo, en las figuras 1A-1C, el porcentaje de superficie de los granos de cristal resultantes de la nueva formación de grano (respecto a la superficie total de la sección examinada). Esta determinación se puede llevar a cabo a su vez con un microscopio electrónico de barrido durante un análisis EBSD. En este sentido se hace referencia a la disposición de medición y a la preparación de muestras, explicadas arriba en relación con las figuras 4A-4D, y al procedimiento de medición explicado. Como ángulo de rotación mínimo se especifica aquí en particular un ángulo de $\geq 15^\circ$, de modo que se puede observar el perfil de los límites de grano de ángulo grande. De esta manera se pueden determinar en particular los límites de grano circunferenciales de los granos de cristal resultantes de la nueva formación de grano, así como las secciones de límite de grano (de ángulo grande). Además, se puede examinar adicionalmente la misma zona también con la especificación de un ángulo de rotación mínimo de $\geq 5^\circ$ (u otro valor pequeño para el ángulo de rotación mínimo) a fin de comprobar si los granos de cristal individuales son granos de cristal resultantes de la nueva formación de grano (estos no presentan una subestructura). A continuación se determina la relación de la superficie de los granos de cristal resultantes de la nueva formación de grano respecto a toda la superficie examinada.

Asimismo, el grado de recristalización se puede evaluar también por medio de la dureza. Esto se puede llevar a cabo, por ejemplo, al someterse después del proceso de forja una pluralidad de muestras producidas de la misma manera a tratamientos térmicos durante un período de tiempo predeterminado a diferente temperatura respectivamente (dado el caso, se puede variar también de manera adicional o alternativa el período de tiempo del tratamiento térmico). En las muestras se mide a continuación la dureza en la misma posición respectivamente (dentro de la muestra). Por tanto, se puede representar esencialmente el desarrollo de la curva mostrada en la figura 2 y se puede determinar en qué zona de la curva está situada la respectiva muestra. Como se explica arriba, se trabaja preferentemente dentro de la zona -TB- alrededor del umbral de recristalización -RKS- (estando representada esquemáticamente la zona -TB- en la figura 2 mediante el círculo de líneas discontinuas alrededor del umbral de recristalización -RKS-).

Durante la determinación del grado de recristalización se ha de tener en cuenta en general que en determinados materiales (por ejemplo, molibdeno y aleaciones de molibdeno) tienen lugar procesos de recuperación extendida (en inglés: extended recovery). Estos procesos de recuperación pueden provocar también gérmenes para una nueva formación de grano según un punto de vista parcialmente representado. Si a partir de estos gérmenes tiene lugar una nueva formación de grano, este tipo de nueva formación de grano se incluye también en el concepto de recristalización en el marco de esta descripción. Si se producen procesos de recuperación extendida, el gráfico en la figura 2 cae en mayor medida en la zona de los procesos de recuperación -EH- y el umbral de recristalización se puede desplazar hacia temperaturas más altas. El gráfico discurre a continuación nuevamente, como en el caso de un material sin procesos de recuperación extendida, al menos en la zona -EB-, en la que está recristalizada la estructura. En particular, se produce cualitativamente una desviación, representada de manera esquemática en la figura 2 mediante la línea discontinua. En aleaciones a base de molibdeno, este efecto se superpone adicionalmente

mediante la formación de partículas, lo que puede influir asimismo sobre el desarrollo concreto de la curva. Desde el punto de vista cualitativo, el desarrollo de la curva va a ser siempre esencialmente como aparece representado en la figura 2.

- 5 A continuación se explica la fabricación de un ánodo giratorio de rayos X, según la invención, de acuerdo con una forma de realización de la presente invención. Primeramente se mezclan los polvos iniciales para el cuerpo de soporte, así como los polvos iniciales para la pista focal. Los polvos iniciales para el cuerpo de soporte se seleccionan de modo que para el cuerpo de soporte (aparte de impurezas) se obtiene una composición de 0,5 % en peso de Ti, 0,08 % en peso de zirconio, 0,01-0,04 % en peso de carbono, menos que 0,03 % en peso de oxígeno y el porcentaje restante de molibdeno (después de finalizar todos los tratamientos térmicos ejecutados durante la fabricación pulvimetalúrgica) (es decir: TZM). Los polvos iniciales se seleccionan también de modo que para la pista focal (aparte de impurezas) se obtiene una composición de 10 % en peso de renio y 90 % en peso de wolframio. Los polvos iniciales se presionan como compuesto con 400 toneladas (corresponde a $4 \cdot 10^5$ kg) por ánodo giratorio de rayos X. A continuación, el cuerpo obtenido se sinteriza a temperaturas en el intervalo de 2.000 °C a 2.300 °C durante 2 a 24 horas. El cuerpo inicial (cuerpo sinterizado), obtenido después de la sinterización, presenta en particular una densidad relativa de 94 %. El cuerpo inicial, obtenido después de la sinterización, se forja a temperaturas en el intervalo de 1.300 °C a 1.500 °C (preferentemente 1.300 °C), presentando el cuerpo después de la etapa de forja un grado de deformación en el intervalo de 20 a 60 % (preferentemente 60 %). Después de la etapa de forja se ejecuta un tratamiento térmico del cuerpo a temperaturas en el intervalo de 1.300 °C a 1.500 °C (preferentemente 1.400 °C) durante 2 a 10 horas. Si en el marco de este ejemplo de realización se especifican datos de intervalo, se pueden obtener respectivamente buenos resultados para distintas combinaciones dentro del respectivo intervalo. Mientras que para las propiedades, según la invención, de la pista focal (y esencialmente también para las propiedades ventajosas descritas del cuerpo de soporte), los parámetros especificados son menos críticos en la etapa de prensado y en la etapa de sinterización, las temperaturas en la etapa de forja y en el tratamiento térmico siguiente influyen en particular sobre las propiedades de la pista focal (en particular sobre su grado de recristalización). En particular, con los valores de temperatura, especificados preferentemente, en la etapa de forja y en la etapa del tratamiento térmico siguiente (con el grado de deformación especificado preferentemente de 60 %) se obtienen resultados particularmente buenos.
- 10
- 15
- 20
- 25
- 30 En el caso de ánodos giratorios de rayos X, fabricados según el ejemplo de realización explicado arriba, se pudo obtener una dureza de 450 HV 30 para la pista focal y una dureza de 315 HV 10 para el cuerpo de soporte. Las mediciones de dureza se han de realizar aquí en una superficie de sección transversal que discurre a través del eje de simetría rotacional. En el caso del cuerpo de soporte se pudieron obtener también a temperatura ambiente un límite de alargamiento de 0,2 % $R_{p 0,2}$ de 650 MPa (megapascal) y un alargamiento de rotura A de 5 %. A este respecto se ha de usar como muestra de medición una muestra que discurre radialmente en el cuerpo de soporte. Como procedimiento de medición se ha de aplicar un procedimiento B, descrito en la norma DIN EN ISO 6892-1 y basado en la velocidad de tensión. En comparación con esto se obtienen durezas típicas de 220 HV 10 como máximo y también límites de alargamiento menores en cuerpos de soporte convencionales, fabricados mediante pulvimetalurgia (exceptuando aleaciones especiales y materiales reforzados con partículas adicionales).
- 35
- 40
- 45 Por consiguiente, estos resultados muestran que en el caso de los ánodos giratorios de rayos X, según la invención, se consiguen durezas claramente mayores (de la pista focal y también del cuerpo de soporte) y límites de alargamientos mayores (al menos en el cuerpo de soporte) que en ánodos giratorios X fabricados de manera convencional mediante pulvimetalurgia. Asimismo, estas pruebas muestran que mediante un tratamiento térmico, realizado a continuación del proceso de forja, a temperaturas en el intervalo del umbral de recristalización (del material del cuerpo de soporte) se puede conseguir una ductilización suficiente del material del cuerpo de soporte. En este tipo de ductilización "cuidadosa" (es decir, un tratamiento térmico a temperaturas comparativamente bajas) se consigue al mismo tiempo que la estructura de la pista focal siga presentando un grano muy fino. La ductilización conseguida se puede identificar en particular por medio de los valores obtenidos del alargamiento de rotura A a temperatura ambiente. En una muestra no tratada térmicamente, el alargamiento de rotura del material del cuerpo de soporte (prensado, sinterizado y forjado) es, por lo general, ≤ 1 %. La ductilización permite evitar que los ánodos giratorios de rayos X sean frágiles y quebradizos.
- 50
- 55 En ánodos giratorios de rayos X, configurados según la invención, se investigó la pista focal al final de su vida útil. En este caso se pudo comprobar que las grietas se desviaban respectivamente a lo largo los límites de grano de la estructura de grano fino y, por tanto, cambiaban varias veces la dirección de propagación. Como resultado de esta desviación de las grietas a lo largo de la estructura de grano fino se evita una propagación profunda de las grietas en el interior de la pista focal. En la superficie de la pista focal al final de su vida útil se pudo observar también un patrón de grieta, distribuido uniformemente, con grietas configuradas de manera uniforme. En cambio, en ánodos giratorios de rayos X comparativos, en los que la pista focal se fabricó mediante proyección por plasma al vacío, los cristales de la pista focal están configurados con una forma columnar y están orientados en perpendicular al plano de la pista focal. Por consiguiente, una grieta se propaga profundamente en la pista focal a lo largo de los límites de grano (y, dado el caso, hasta por debajo del cuerpo de soporte).
- 60
- 65 Para examinar la textura de la pista focal y del cuerpo de soporte se preparó como muestra a examinar un ánodo giratorio de rayos X, explicado arriba con referencia a las figuras 4A-4D. El ánodo giratorio de rayos X estaba

configurado aquí según la invención. La pista focal presentaba (aparte de impurezas) una composición de 90 % en peso de wolframio y 10 % en peso de renio, mientras que el cuerpo de soporte presentaba (aparte de impurezas) una composición de 0,5 % en peso de Ti, 0,08 % en peso de zirconio, 0,01-0,04 % en peso de carbono, menos que 0,03 % en peso de oxígeno y el porcentaje restante de molibdeno. La disposición de medición está en correspondencia también con la disposición explicada arriba. En el procedimiento de medición se usaron los ajustes explicados arriba con referencia a las figuras 4A-4D, siempre que estos se puedan aplicar o realizar para determinar la textura. Las figuras de polo inversas, obtenidas durante el análisis EBSD, están representadas en las figuras 5A-5C. En este sentido se definieron con respecto a la pista focal las direcciones macroscópicas, situadas en perpendicular entre sí, -ND- que discurre en perpendicular al plano de la pista focal en la zona examinada respectivamente, -RD- que discurre de manera esencial radial y paralelamente al plano de la pista focal, y -TD- que discurre tangencial y paralelamente al plano de la pista focal (estas direcciones se muestran en la figura 3 a modo de ilustración). La actuación de la fuerza durante el proceso de forja en el procedimiento de fabricación del ánodo giratorio de rayos X tuvo lugar en perpendicular al plano de la pista focal (es decir, a lo largo de la dirección -ND-). En la figura 5A, la figura de polo inversa de la pista focal está representada en la dirección -ND-, en la figura 5B, la figura de polo inversa está representada en dirección -RD- y en la figura 5C, la figura de polo inversa está representada en dirección -TD-. Por medio de la figura 5A se puede identificar la texturización preferente pronunciada de la dirección $\langle 111 \rangle$ y de la dirección $\langle 001 \rangle$ a lo largo de la dirección -ND-. Por medio de las figuras 5B y 5C se puede identificar también la texturización preferente (menos pronunciada) de la dirección $\langle 101 \rangle$ a lo largo de las direcciones -RD- y -TD-. Para la textura del cuerpo de soporte, determinada en la zona exterior del ánodo giratorio de rayos X, se obtuvieron resultados correspondientes. En particular se midió una texturización preferente pronunciada de la dirección $\langle 111 \rangle$ y de la dirección $\langle 001 \rangle$ a lo largo de la dirección -ND-, así como una texturización preferente (ligeramente menos pronunciada) de la dirección $\langle 101 \rangle$ a lo largo de las direcciones -RD- y -TD-.

25 A modo de comparación se examinaron las texturas de muestras, preparadas de manera correspondiente, de una pista focal aplicada mediante el procedimiento CVD y hecha de wolframio puro (figura 6) y de una pista focal fabricada mediante proyección por plasma al vacío y hecha de una aleación de wolframio y renio (véase figura 7) (porcentaje de wolframio: 90 % en peso, porcentaje de renio: 10 % en peso). En la figura 6 está representada la figura de polo inversa en dirección -TD-. Como se puede observar en la figura 6, la pista focal aplicada mediante recubrimiento CVD presenta una texturización preferente de la dirección $\langle 111 \rangle$ a lo largo de la dirección -TD-. En la figura 7 está representada la figura de polo inversa en dirección -ND-. Como se puede observar en la figura 7, la pista focal fabricada mediante proyección por plasma al vacío presenta una texturización preferente pronunciada de la dirección $\langle 001 \rangle$ a lo largo de la dirección -ND-.

REIVINDICACIONES

1. Ánodo giratorio de rayos X que presenta un cuerpo de soporte (14) y una pista focal (16), configurada sobre el cuerpo de soporte (14), estando fabricados como compuesto el cuerpo de soporte (14) y la pista focal (16) mediante pulvimetalurgia, estando formado el cuerpo de soporte (14) por molibdeno o una aleación a base de molibdeno y estando formada la pista focal (16) por wolframio o una aleación a base de wolframio, **caracterizado por que** en el ánodo giratorio de rayos X (10), tratado por último con calor, al menos una sección de la pista focal (16) está presente en una estructura no recristalizada y/o en una estructura parcialmente recristalizada y por que la sección de la pista focal (16) presenta una distancia de límite de grano de ángulo pequeño promedio de $\leq 10 \mu\text{m}$, en el que
- la distancia de límite de grano de ángulo pequeño promedio se puede determinar mediante un procedimiento de medición, en el que en una zona de la sección de la pista focal (16) se determinan límites de grano (8), secciones de límite de grano (2) y límites de grano de ángulo pequeño (9) con un ángulo de límite de grano de $\geq 5^\circ$ en una superficie de sección transversal radial que discurre en perpendicular al plano de la pista focal,
 - para la determinación de la distancia de límite de grano de ángulo pequeño promedio en paralelo al plano de la pista focal se coloca en el patrón de límite de grano (32), resultante de esta manera, un grupo de líneas (34) que discurre en paralelo a la superficie de sección transversal y está formado por líneas que discurren respectivamente en paralelo al plano de la pista focal y presentan en cada caso una distancia respectiva entre sí de $17,2 \mu\text{m}$, en las líneas individuales se determinan respectivamente las distancias entre dos puntos de intersección contiguos entre sí de la respectiva línea con líneas del patrón de límite de grano (32) y el valor promedio de estas distancias se determina como distancia de límite de grano de ángulo pequeño promedio en paralelo al plano de la pista focal,
 - para la determinación de la distancia de límite de grano de ángulo pequeño promedio en perpendicular al plano de la pista focal se coloca en el patrón de límite de grano obtenido (32) un grupo de líneas (36) que discurre en paralelo a la superficie de sección transversal y está formado por líneas que discurren respectivamente en perpendicular al plano de la pista focal y presentan en cada caso una distancia respectiva entre sí de $17,2 \mu\text{m}$, en las líneas individuales se determinan respectivamente las distancias entre dos puntos de intersección contiguos entre sí de la respectiva línea con líneas del patrón de límite de grano (32) y el valor promedio de estas distancias se determina como distancia de límite de grano de ángulo pequeño promedio en perpendicular al plano de la pista focal, y
 - la distancia de límite de grano de ángulo pequeño promedio se determina como valor promedio geométrico de la distancia de límite de grano de ángulo pequeño promedio en paralelo al plano de la pista focal y de la distancia de límite de grano de ángulo pequeño promedio en perpendicular al plano de la pista focal.
2. Ánodo giratorio de rayos X de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** la sección de la pista focal presenta en perpendicular (ND) a un plano de pista focal una texturización preferente de la dirección $\langle 111 \rangle$ con un coeficiente de textura $TC_{(222)}$, determinable por difracción de rayos X, de ≥ 4 y una texturización preferente de la dirección $\langle 001 \rangle$ con un coeficiente de textura $TC_{(200)}$, determinable por difracción de rayos X, de ≥ 5 .
3. Ánodo giratorio de rayos X de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por que** en la sección de la pista focal (16) en perpendicular (ND) al plano de la pista focal se cumple la siguiente relación de los coeficientes de textura $TC_{(222)}$ y $TC_{(310)}$ que se pueden determinar por difracción de rayos X:

$$\frac{TC_{(222)}}{TC_{(310)}} \geq 5$$

4. Ánodo giratorio de rayos X de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** la sección de la pista focal (16) presenta una dureza de $\geq 350 \text{ HV } 30$.
5. Ánodo giratorio de rayos X de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** la sección de la pista focal (16) está presente en una estructura parcialmente recristalizada.
6. Ánodo giratorio de rayos X de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado por que** en la estructura parcialmente recristalizada, los granos de cristal (6) resultantes de la nueva formación de grano están rodeados por una estructura de deformación y por que estos granos de cristal (6) tienen respecto a una superficie de sección transversal a través de la estructura parcialmente recristalizada una superficie en el intervalo de 10 % a 80 %.
7. Ánodo giratorio de rayos X de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** la sección de la pista focal (16) presenta en direcciones en paralelo al plano de la pista focal (RD, TD) una texturización preferente de la dirección $\langle 101 \rangle$.
8. Ánodo giratorio de rayos X de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** al menos una sección del cuerpo de soporte (14) está presente en una estructura no recristalizada y/o en una estructura parcialmente recristalizada.

9. Ánodo giratorio de rayos X de acuerdo con la reivindicación 8, **caracterizado por que** la sección del cuerpo de soporte (14) presenta una dureza de ≥ 230 HV 30.

10. Ánodo giratorio de rayos X de acuerdo con la reivindicación 8 o 9, **caracterizado por que**

- la sección del cuerpo de soporte (14) presenta en perpendicular (ND) al plano de la pista focal una texturización preferente de la dirección $\langle 111 \rangle$ y de la dirección $\langle 001 \rangle$; y/o
- la sección del cuerpo de soporte (14) presenta en direcciones (RD, TD) en paralelo al plano de la pista focal una texturización preferente de la dirección $\langle 001 \rangle$.

11. Ánodo giratorio de rayos X de acuerdo con una de las reivindicaciones 8 a 10, **caracterizado por que** la sección del cuerpo de soporte (14) presenta a temperatura ambiente un alargamiento de rotura de $\geq 2,5$ %.

12. Ánodo giratorio de rayos X de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** el cuerpo de soporte (14) está formado por una aleación a base de molibdeno, cuyos otros componentes de aleación se forman mediante al menos un elemento del grupo Ti, Zr, Hf y mediante al menos un elemento del grupo C, N.

13. Uso de un ánodo giratorio de rayos X de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes en un tubo de rayos X para generación de rayos X.

14. Procedimiento para la fabricación de un ánodo giratorio de rayos X de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 12, que presenta las siguientes etapas:

- A) proporcionar un cuerpo inicial, fabricado como compuesto mediante prensado y sinterización de polvos iniciales correspondientes, con una sección de cuerpo de soporte de molibdeno o de una mezcla a base de molibdeno y con una sección de pista focal, configurada sobre el cuerpo de soporte, de wolframio o una mezcla a base de wolframio;
- B) forjar el cuerpo; y
- C) ejecutar un tratamiento térmico del cuerpo durante y/o después de la etapa de forja;

en el que el tratamiento térmico se ejecuta a temperaturas bajas tales y durante un período de tiempo tal que en el ánodo giratorio de rayos X (10), tratado por último con calor, al menos una sección de la pista focal (16), obtenida a partir de la sección de pista focal, está presente en una estructura no recristalizada y/o en una estructura parcialmente recristalizada y la sección de la pista focal (16) presenta una distancia de límite de grano de ángulo pequeño promedio de ≤ 10 μm ,

- la distancia de límite de grano de ángulo pequeño promedio se puede determinar mediante un procedimiento de medición, en el que en una zona de la sección de la pista focal (16) se determinan límites de grano (8), secciones de límite de grano (2) y límites de grano de ángulo pequeño (9) con un ángulo de límite de grano de $\geq 5^\circ$ en una superficie de sección transversal radial que discurre en perpendicular al plano de la pista focal,
- para la determinación de la distancia de límite de grano de ángulo pequeño promedio en paralelo al plano de la pista focal se coloca en el patrón de límite de grano (32), resultante de esta manera, un grupo de líneas (34) que discurre en paralelo a la superficie de sección transversal y está formado por líneas que discurren respectivamente en paralelo al plano de la pista focal y presentan en cada caso una distancia respectiva entre sí de 17,2 μm , en las líneas individuales se determinan respectivamente las distancias entre dos puntos de intersección contiguos entre sí de la respectiva línea con líneas del patrón de límite de grano (32) y el valor promedio de estas distancias se determina como distancia de límite de grano de ángulo pequeño promedio en paralelo al plano de la pista focal,
- para la determinación de la distancia de límite de grano de ángulo pequeño promedio en perpendicular al plano de la pista focal se coloca en el patrón de límite de grano obtenido (32) un grupo de líneas (36) que discurre en paralelo a la superficie de sección transversal y está formado por líneas que discurren respectivamente en perpendicular al plano de la pista focal y presentan en cada caso una distancia respectiva entre sí de 17,2 μm , en las líneas individuales se determinan respectivamente las distancias entre dos puntos de intersección contiguos entre sí de la respectiva línea con líneas del patrón de límite de grano (32) y el valor promedio de estas distancias se determina como distancia de límite de grano de ángulo pequeño promedio en perpendicular al plano de la pista focal, y
- la distancia de límite de grano de ángulo pequeño promedio se determina como valor promedio geométrico de la distancia de límite de grano de ángulo pequeño promedio en paralelo al plano de la pista focal y de la distancia de límite de grano promedio en perpendicular al plano de la pista focal.

15. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 14, **caracterizado por que** el tratamiento térmico se ejecuta a temperaturas en un intervalo de 1.300 a 1.500 °C.

16. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 14 o 15, **caracterizado por que** el cuerpo forjado presenta al finalizar la forja un grado de deformación en el intervalo de 20 % a 60 %.

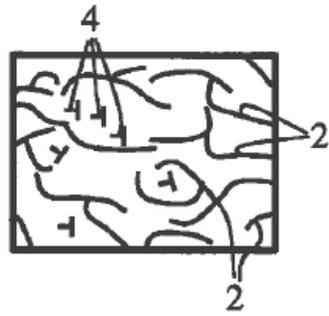


Fig. 1A

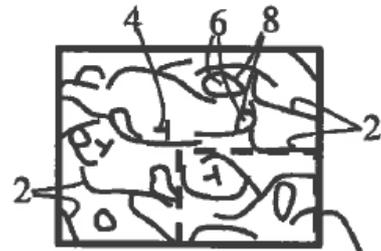


Fig. 1C

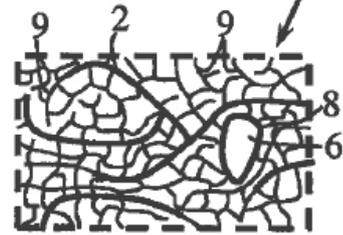


Fig. 1B

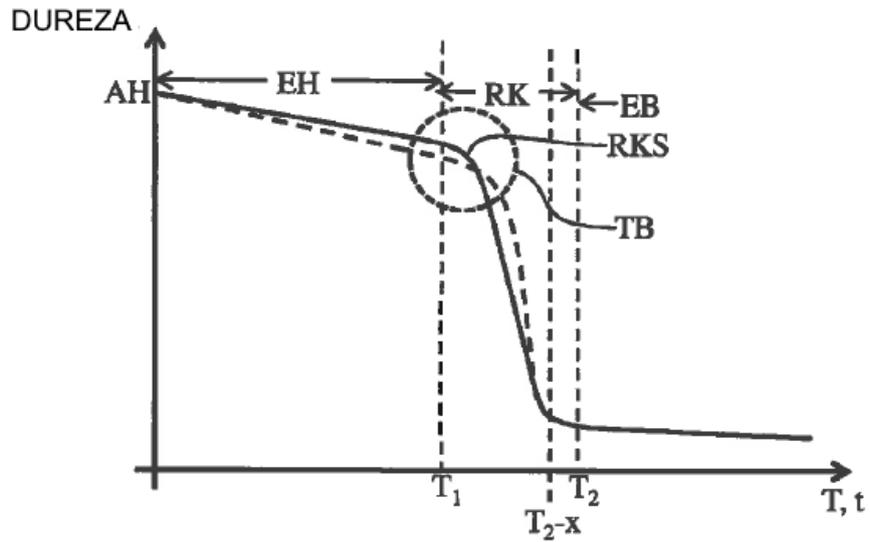


Fig. 2

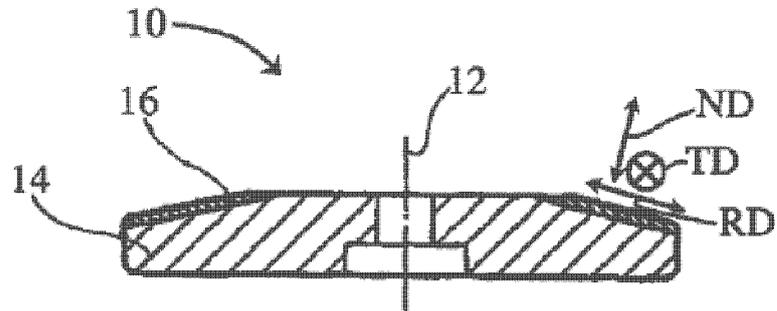


Fig. 3

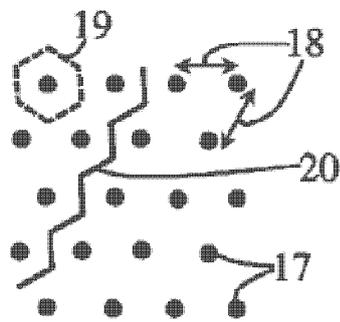


Fig. 4A

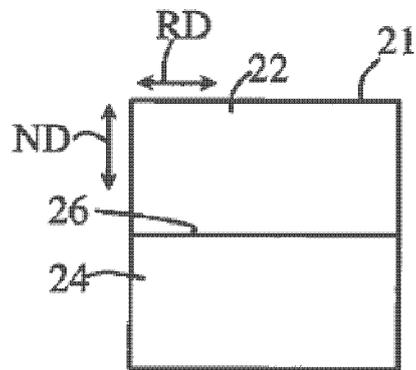


Fig. 4B

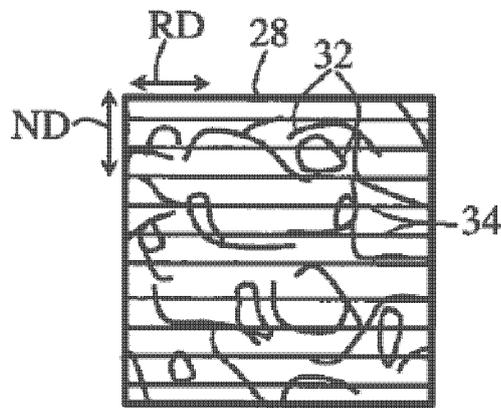


Fig. 4C

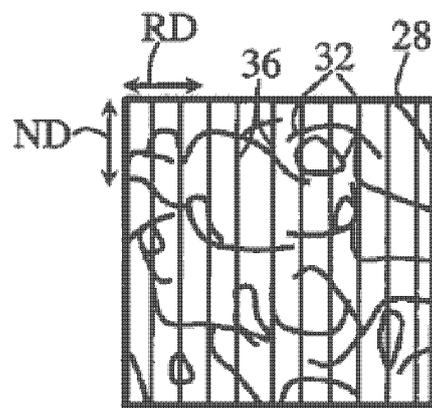


Fig. 4D

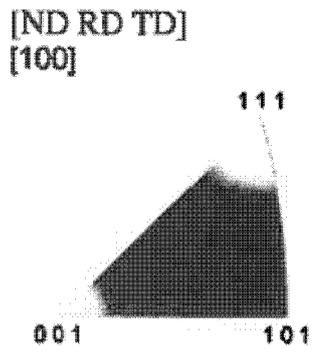


Fig. 5A

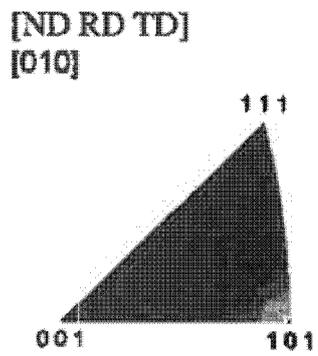


Fig. 5B

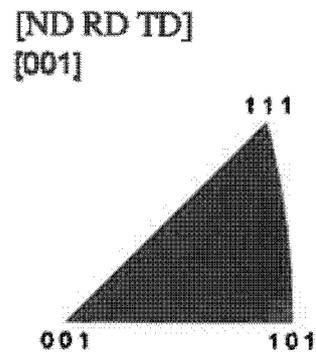


Fig. 5C

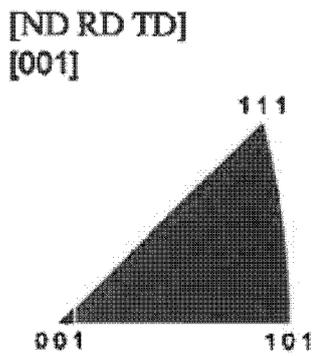


Fig. 6

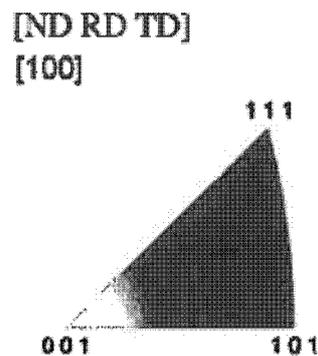


Fig. 7