

(19)



(11)

EP 4 107 771 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

08.01.2025 Patentblatt 2025/02

(21) Anmeldenummer: **21706474.0**

(22) Anmeldetag: **28.01.2021**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):

H01J 35/10 ^(2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):

H01J 35/104; H01J 2235/081; H01J 2235/086;

H01J 2235/1013; H01J 2235/106

(86) Internationale Anmeldenummer:

PCT/AT2021/060029

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:

WO 2021/163741 (26.08.2021 Gazette 2021/34)

(54) **RÖNTGENDREHANODE MIT INTEGRIERTER FLÜSSIGMETALLLAGER-AUSSENSCHALE**

ROTARY X-RAY ANODE HAVING AN INTEGRATED LIQUID METAL BEARING OUTER SHELL

ANODE ROTATIVE À RAYONS X AYANT UNE COQUE EXTERNE DE PALIER MÉTALLIQUE LIQUIDE INTÉGRÉ

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorität: **20.02.2020 AT 5003320 U**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:

28.12.2022 Patentblatt 2022/52

(73) Patentinhaber: **Plansee SE**

6600 Reutte (AT)

(72) Erfinder:

- **WUCHERPFENNIG, Andreas**
6600 Reutte (AT)
- **EBERHARDT, Nico**
6600 Reutte (AT)

• **LORENZ, Hannes**

6600 Reutte (AT)

• **SCHATTE, Jürgen**

6600 Reutte (AT)

• **BIENERT, Christian**

6600 Reutte (AT)

• **SCHWARZ, Thomas**

6600 Reutte (AT)

(74) Vertreter: **Ciesla, Bettina et al**

Plansee Group Functions Austria Service GmbH

IP-Department

c/o Plansee Group Functions Austria GmbH

Metallwerk-Plansee-Straße, 71

6600 Reutte (AT)

(56) Entgegenhaltungen:

WO-A1-2016/055319 JP-A- 2014 235 968

US-A1- 2011 058 654 US-A1- 2017 084 420

EP 4 107 771 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Röntgendrehanode mit einer integrierten Flüssigmetalllager-Außenschale gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1, ein Röntgendrehanodensystem aufweisend eine Röntgendrehanode mit integrierter Flüssigmetalllager-Außenschale und eine darin eingesetzte Flüssigmetalllager-Innenschale sowie ferner ein Herstellungsverfahren solch einer Röntgendrehanode.

[0002] Röntgendrehanoden werden in Röntgenröhren zur Erzeugung von Röntgenstrahlen eingesetzt. Im Einsatz werden Elektronen aus einer Kathode der Röntgenröhre emittiert und in Form eines fokussierten Elektronenstrahls auf die in Rotation versetzte Röntgendrehanode beschleunigt. Aufgrund der Drehbewegung der Röntgendrehanode wird durch den Elektronenstrahl eine ringförmige Bahn - die Brennbahn - abgetastet. Ein Großteil der Energie des Elektronenstrahls wird in der Röntgendrehanode in Wärme umgewandelt, während ein kleiner Anteil als Röntgenstrahlung abgestrahlt wird. Die lokal freigesetzten Wärmemengen führen zu einer starken Aufheizung der Röntgendrehanode. Durch die Rotation der Röntgendrehanode wird einer Überhitzung des Anodenmaterials entgegengewirkt.

[0003] Insbesondere im Hochleistungsbereich wird eine hohe Strahlungsleistung (bzw. Dosisleistung) gefordert, die durch Einsatz eines entsprechend hochenergetischen und stark fokussierten Elektronenstrahls erzeugbar ist. Um eine Materialermüdung aufgrund von hohen Temperaturen und Temperaturgradienten zu vermeiden, müssen Röntgendrehanoden für hohe Drehfrequenzen sowie für eine effektive und gleichmäßige Wärmeableitung ausgelegt sein. Im Hinblick auf diese Anforderungen ist der Einsatz eines Flüssigmetalllagers zur Lagerung der Röntgendrehanode vorteilhaft.

[0004] Aus der US 2016/0086760 A1 und der US 2017/0125199 A1 ist jeweils ein Röntgendrehanodensystem bekannt, bei dem eine Flüssigmetalllager-Außenschale als Einsatz in ein zentrales Durchgangsloch der Röntgendrehanode eingesetzt ist. Ferner ist in der US 2016/0086760 A1 ein Reibschweißverfahren unter Einsatz eines Zwischenbauteils, das in die Schweißzone eingebracht wird, beschrieben. Weitere Röntgendrehanodensysteme sind aus den Druckschriften US 5,204,890 A und US 6 198 805 B1 bekannt.

[0005] Die Druckschrift US 2011/058654 A1 offenbart eine Drehanoden-Röntgenröhrenvorrichtung welche eine stationäre Welle, ein Kühlbad, das in der stationären Welle vorgesehen ist, einen Rotationszylinder, der drehbar an der stationären Welle gelagert ist, ein Target, das in dem Rotationszylinder vorgesehen ist, eine Kathode, die angeordnet ist, um dem Target zugewandt zu sein, und ein Vakuumgehäuse, in dem diese Komponenten gelagert sind, umfasst. Ein flüssiges Metall wird in einen Spalt der stationären Welle und des Rotationszylinders eingefüllt. Das flüssige Metall wirkt als Schmiermittel des hydrodynamischen Lagers, wenn sich die Drehanode

dreht.

[0006] Die Druckschrift US 2017/0084420 A1 offenbart eine Drehanoden-Röntgenröhre, bei der eine ringförmige Nut ringförmig auf einer ersten Oberfläche einer Drehanode ausgebildet ist. Die Ringnut ist so verlängert, dass sie von einem Anodentarget umgeben ist, und um eine Drehachse der Drehanode herum rotationssymmetrisch zu einer Drehachse angeordnet ist. Schlitzte sind so in der Drehanode ausgebildet, dass sie um die Drehachse in Rotationssymmetrie in Bezug auf die Drehachse angeordnet sind, jeder der Schlitzte in die Rotationsanode geschnitten und in Verbindung mit der ringförmigen Nut verlängert ist, und Durchganglöcher stehen mit den jeweiligen Schlitzten in Verbindung, und jedes der Durchganglöcher öffnet sich in der ringförmigen Nut und erstreckt sich von der ringförmigen Nut zu der gegenüberliegenden Oberfläche.

[0007] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, Röntgendrehanoden bzgl. einer guten Lagerung bei hohen Drehfrequenzen und einer gleichmäßigen und effektiven Wärmeableitung zu verbessern. Ferner soll eine kostengünstige und prozessstabile Herstellung der Röntgendrehanode ermöglicht werden.

[0008] Die Aufgabe wird gelöst durch eine Röntgendrehanode gemäß Anspruch 1, ein Röntgendrehanodensystem gemäß Anspruch 8 sowie durch ein Verfahren zum Herstellen einer Röntgendrehanode gemäß Anspruch 13. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0009] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird eine Röntgendrehanode mit integrierter Flüssigmetalllager-Außenschale bereitgestellt. Die Röntgendrehanode weist eine Anodenscheibe aus Mo (Mo: Molybdän) oder einer Mo-basierten Legierung mit einem im Bereich der Drehachse zentral ausgebildeten und sich in axialer Richtung zumindest durch einen Teil der Anodenscheibe hindurch erstreckenden Loch und eine Lagerbuchse aus Mo oder einer Mo-basierten Legierung auf. Die Innenwand der Lagerbuchse ist zumindest über einen axialen Abschnitt derselben umlaufend (d.h. in Umfangsrichtung bezogen auf die Drehachse) als Flüssigmetalllager-Laufläche ausgebildet und bildet einen ersten Teilabschnitt der Flüssigmetalllager-Außenschale. Insbesondere kann die gesamte (typischerweise zylindrisch ausgebildete) Innenwand der Lagerbuchse als Flüssigmetalllager-Laufläche ausgebildet sein. Alternativ kann aber auch nur ein axialer Abschnitt der Innenwand der Lagerbuchse, der dann ebenfalls typischerweise zylindrisch ausgebildet ist, als Flüssigmetalllager-Laufläche ausgebildet sein, während ein weiterer axialer Abschnitt z.B. auch mechanische Begrenzungselemente und/oder eine Beschichtung, durch die im Einsatz Flüssigmetall im Flüssigmetalllager zurückgehalten wird, aufweisen kann. Die Flüssigmetalllager-Außenschale wird durch den ersten und einen daran angrenzenden zweiten Teilabschnitt gebildet und weist eine durchgehende Flüssigmetalllager-Laufläche auf. Die Lagerbuchse ist dabei derart über eine stoffschlüssige Verbindung mit einem

Verbindungsstutzen der Anodenscheibe verbunden, dass die Innenwand der Lagerbuchse das Loch der Anodenscheibe fortsetzt. Ferner ist zumindest ein axialer Abschnitt einer Innenwand des Lochs der Anodenscheibe umlaufend (d.h. in Umfangsrichtung bezogen auf die Drehachse) als Flüssigmetalllager-Laufläche ausgebildet und bildet zumindest einen Teil des zweiten Teilabschnittes der Flüssigmetalllager-Außenschale. Auch hier kann wiederum die gesamte (typischerweise zylindrisch ausgebildete) Innenwand des Lochs umlaufend als Flüssigmetalllager-Laufläche ausgebildet sein. Im Falle eines Sacklochs kann ggf. auch der Boden des Lochs eine Flüssigmetalllager-Laufläche bilden. Alternativ kann aber auch nur ein axialer Abschnitt der Innenwand des Lochs, der dann ebenfalls typischerweise zylindrisch ausgebildet ist, umlaufend als Flüssigmetalllager-Laufläche ausgebildet sein.

[0010] Bei Flüssigmetalllagern wird zwischen einer Flüssigmetalllager-Außenschale und einer Flüssigmetalllager-Innenschale, die aufeinander abgestimmt sind und von denen eine an einer stationären Komponente und eine an einer rotierenden Komponente ausgebildet ist, ein definierter Lagerspalt gebildet. Vorliegend ist die Flüssigmetalllager-Außenschale integral mit der Röntgendrehanode und damit als rotierende Komponente ausgebildet. Die Flüssigmetalllager-Innenschale kann z.B. integral an einem in die Flüssigmetalllager-Außenschale eingeführten Zapfen (stationäre Komponente) ausgebildet sein. Der Lagerspalt ist im Einsatz mit Flüssigmetall (z.B. Gallium, eine Galliumlegierung wie z.B. eine eutektische Gallium-Indium-Zinn-Legierung, etc.) gefüllt. Die Spaltbreite beträgt typischerweise von wenigen Mikrometern bis zu 500 μm (zumindest $\leq 1\text{ mm}$); insbesondere von 5-500 μm , bevorzugt von 7-40 μm , wobei die Spaltbreite auch über die Länge des Lagerspalt es variieren kann. Insbesondere kann/können auch mindestens eine umlaufende Aussparung und/oder Stufe bzw. Rippe in der Flüssigmetalllager-Außenschale und/oder -Innenschale vorgesehen sein, im Bereich derer die Spaltbreite auch abweichend zu dem Rest des Lagerspalt es ausgebildet sein kann (vgl. z.B. DE 10 2015 215 306 A1). Insbesondere kann mindestens eine umlaufende Rippe an der einen Komponente mit (mindestens) einer entsprechend ausgebildeten Rinne an der anderen Komponente zur Fixierung der beiden Komponenten relativ zueinander in axialer Richtung vorgesehen sein. Als Flüssigmetalllager-Lauflächen werden die Abschnitte der Flüssigmetalllager-Außenschale und der Flüssigmetalllager-Innenschale bezeichnet, die im Einsatz sowohl an der Flüssigmetalllager-Außenschale als auch an der Flüssigmetalllager-Innenschale mit Flüssigmetall benetzt sind und damit eine reibungsarme Rotation ermöglichen. Das Flüssigmetall verhindert einen direkten Kontakt zwischen der Flüssigmetalllager-Außenschale und der Flüssigmetalllager-Innenschale und wirkt gleichzeitig als Schmiermittel, wodurch ausgezeichnete Laufeigenschaften erzielt werden. Zum Antrieb der Röntgendrehanode ist die Flüssigmetalllager-

Außenschale mit einem Rotor versehen bzw. an diesen (mechanisch) gekoppelt, der in Zusammenwirken mit einem Stator in bekannter Weise in Rotation versetzt wird.

[0011] Der Einsatz eines Flüssigmetalllagers zur Lagerung der Röntgendrehanode ist vorteilhaft, da Flüssigmetalllager für eine hohe Last sowie für hohe Drehfrequenzen ausgelegt sind und dabei gleichzeitig eine hohe Betriebssicherheit und eine lange Lebensdauer aufweisen. Ein Vorteil (z.B. gegenüber einem Kugellager) ist, dass der erhöhte Druck des in dem Lagerspalt befindlichen Flüssigmetalls über einen größeren Flächenabschnitt (insb. in axialer Erstreckung) ausgebildet wird und damit die mechanische Stabilität erhöht ist. Insbesondere sind bei Flüssigmetalllagern Drehfrequenzen von bis zu 300 Hz (Hertz) möglich, während z.B. Kugellager in der Regel für Drehfrequenzen von deutlich unter 200 Hz (z.B. 140 Hz) ausgelegt sind. Weiterhin sind Flüssigmetalllager im Vergleich zu Kugellagern geräuscharm und ermöglichen aufgrund der vergrößerten Kontaktfläche (über den mit Flüssigmetall gefüllten Lagerspalt) eine effektive und großflächige Wärmeableitung. Damit kann die Wärme effektiv auf die stationäre Komponente (z.B. auf einen innenseitig in die Flüssigmetalllager-Außenschale eingesetzten Zapfen) abgeleitet werden. Von der stationären Komponente wiederum kann dann die Wärme effektiv über eine innenseitige Kühlung (mittels eines in mindestens einem Kühlkanal geführten Kühlmittels) abgeführt werden, so dass das Wärmemanagement (Thermal Management) sehr effektiv und damit für den Hochleistungsbereich geeignet ist. Kugellager hingegen sind aufgrund der eingesetzten wärmeempfindlichen Beschichtungen nicht für eine effektive Wärmeableitung über das Lager ausgelegt, da dies zur Schädigung der jeweiligen Beschichtung führen würde.

[0012] Mo bzw. Mo-basierte Legierungen sind besonders vorteilhaft als Material für die Anodenscheibe sowie für die Lagerbuchse, da sie eine hohe Festigkeit (auch bei den hohen Einsatztemperaturen) aufweisen und eine gute Wärmeableitung ermöglichen. Ferner weisen Mo bzw. Mo-basierte Legierungen eine gute Benetzbarkeit für die typischerweise eingesetzten Flüssigmetalle auf. Dementsprechend ist weiterhin vorteilhaft, dass die Innenwand der Lagerbuchse wie auch die Innenwand des Lochs der Anodenscheibe als Flüssigmetalllager-Laufläche ausgebildet sind, da damit bereits durch das Grundmaterial eine gute Benetzbarkeit gegeben ist. Optional kann an der Innenwand der Lagerbuchse und/oder an der Innenwand des Lochs - jeweils vollständig oder auch nur abschnittsweise - eine Beschichtung (von typischerweise weniger als 10 μm Dicke) vorgesehen sein. Es ist aber kein separater Einsatz mit einer innenseitigen Flüssigmetalllager-Außenschale, der in das Loch der Anodenscheibe eingebracht und mit dieser verbunden werden müsste, vorgesehen, was herstellungsseitig aufwändiger wäre und eine Barriere für die Wärmeableitung darstellen könnte. Weiterhin wird eine hohe mechanische Stabilität zwischen der Anodenscheibe und der

Flüssigmetalllager-Außenschale erzielt, was für die Laufeigenschaften vorteilhaft ist. Indem die Innenwand der Lagerbuchse die Innenwand des Lochs der Anodenscheibe fortsetzt und damit eine Flüssigmetalllager-Laufläche mit entsprechend langer axialer Erstreckungslänge bereitgestellt wird, sorgt dies für eine mechanisch stabile und präzise Führung bei Rotation der Anodenscheibe.

[0013] Als Mo-basierte Legierung wird vorliegend eine Legierung verstanden, die > 50 Gew.% Mo enthält. Insbesondere enthält sie zu ≥ 80 Gew.%, noch bevorzugter zu ≥ 98 Gew.% Mo, was angesichts der oberhalb genannten Eigenschaften von Mo besonders vorteilhaft ist. Dabei müssen die Anodenscheibe und die Lagerbuchse nicht vollständig aus Mo oder einer Mo-basierten Legierung ausgebildet sein, sondern es wird hier insbesondere auf das Grundmaterial Bezug genommen. Insbesondere können sie eine Beschichtung (z.B. eine Schwärzungsschicht zur Erhöhung der abgestrahlten Wärmeleistung), Anbauteile, wie z.B. ein an der Anodenscheibe befestigter C-basierter Körper als Wärmespeicher (z.B. Graphitkörper), ein an der Lagerbuchse angebrachter Flansch, etc., oder auch einen Belag, wie z.B. ein im Bereich der Brennbahn aufgebrachter, umlaufender Brennbahnbelag, vorgesehen sein. Wie eingangs erläutert, wird dabei als "Brennbahn" der ringförmig um die Drehachse umlaufende Abschnitt der Anodenscheibe bezeichnet, der im Einsatz durch den Elektronenstrahl abgetastet wird. Typischerweise ist im Bereich der Brennbahn (mit einer gewissen radialen Erstreckung) ein Brennbahnbelag auf die Anodenscheibe aufgebracht. Der Brennbahnbelag wird insbesondere durch W oder eine W-Re-Legierung mit einem Re-Anteil von 1-15 Gew.%, insbesondere von 5-10 Gew.%, gebildet (W: Wolfram; Re: Rhenium). Ferner weist die Anodenscheibe in dem Bereich der Brennbahn typischerweise eine abgewinkelte Brennbahnfläche auf, die vorzugsweise eine umlaufende Kegestumpf-Mantelfläche bildet. Insbesondere ist die Brennbahnfläche abgewinkelt relativ zu einer sich senkrecht zu der Drehachse erstreckenden Referenzebene, wodurch der Austritt der erzeugten Röntgenstrahlung durch ein seitlich gelegenes Austrittsfenster des jeweiligen Röntgengeräts ermöglicht wird. Beispielsweise bildet sie einen Brennbahnwinkel im Bereich von 2° - $16,25^{\circ}$, insbesondere von 7° - 13° relativ zu dieser Referenzebene aus.

[0014] Die in Bezug genommene "Drehachse" ist durch die rotationssymmetrische Grundform der Röntgendrehanode sowie der Flüssigmetalllager-Außenschale vorgegeben. Die Drehachse gibt gleichzeitig die (parallel hierzu verlaufende) "axiale Richtung" sowie die (senkrecht hierzu verlaufende) "radiale Richtung" vor. Eine "Referenzebene" der Röntgendrehanode (die typischerweise gleichzeitig deren Haupterstreckungsebene bildet), erstreckt sich insbesondere senkrecht zu der Drehachse. Anzumerken ist, dass die Röntgendrehanode nicht exakt bis in jedes Detail rotationssymmetrisch ausgebildet sein muss, so dass z.B. in Umlaufrichtung ausgebildete Schlitze, periodisch angeordnete Vor-

sprünge, Vertiefungen, Anbauteile, etc., eine exakte Rotationssymmetrie durchbrechen können. Als Lagerbuchse wird ein Bauteil mit einem (Durchgangs-)Loch, dessen Innenwand vorliegend zumindest abschnittsweise als Flüssigmetalllager-Laufläche ausgebildet ist, bezeichnet, wobei die Lagerbuchse unterschiedliche (insbesondere außenseitige) Konturen und Anbauteile aufweisen kann. Die Lagerbuchse (und entsprechend die mechanische Halterung der Röntgendrehanode) ist in einer bevorzugten Variante auf der von der Brennbahn gegenüberliegenden Seite der Anodenscheibe angeordnet. Alternativ kann die Lagerbuchse (und entsprechend die mechanische Halterung der Röntgendrehanode) auch auf der Seite der Anodenscheibe, auf der die Brennbahn vorgesehen ist, angeordnet sein.

[0015] Gemäß der vorliegenden Erfindung ist der erste Teilabschnitt der Flüssigmetalllager-Außenschale monolithisch mit der Lagerbuchse und zumindest ein Teil des zweiten Teilabschnitts der Flüssigmetalllager-Außenschale monolithisch mit der Anodenscheibe ausgebildet. "Monolithisch" bedeutet dabei, dass das betreffende Bauteil im Rahmen der metallurgischen Herstellung (vorzugsweise pulvermetallurgisch oder alternativ schmelzmetallurgisch) einteilig hergestellt wird, wobei eine nachträgliche mechanische Bearbeitung, bspw. zur Einbringung des Loches und/oder einer oberflächlichen Strukturierung, und/oder eine nachträgliche Aufbringung mindestens einer Schicht möglich sind. Eine monolithische Ausbildung ist für den Fachmann anhand einer einheitlichen und durchgehenden Mikrostruktur (des Grundmaterials aus Mo oder einer Mo-basierten Legierung) erkennbar. Bevorzugt ist eine pulvermetallurgische Herstellung der Anodenscheibe und/oder der Lagerbuchse, wobei diese die Schritte des Pressens und Sinterns von entsprechenden Ausgangspulvern sowie vorzugsweise eine anschließende Umformung (z.B. Walzen, Schmieden, Extrudieren, etc.) des erhaltenen Formkörpers aufweist. Die pulvermetallurgische Herstellung führt zu einer typischen und für den Fachmann erkennbaren Mikrostruktur, die z.B. klar von einem (im Rahmen einer schmelzmetallurgischen Herstellung erhaltenen) Schmelzgefüge unterscheidbar ist. Die Innenwand der Lagerbuchse ist also zumindest in dem Bereich der Flüssigmetalllager-Laufläche aus dem Grundmaterial (Mo bzw. Mo-basierte Legierung) der Lagerbuchse gebildet und die Innenwand des Lochs der Anodenscheibe ist zumindest in dem Bereich der Flüssigmetalllager-Laufläche aus dem Grundmaterial (Mo bzw. Mo-basierte Legierung) der Anodenscheibe gebildet. An der Innenwand der Lagerbuchse und/oder an der Innenwand des Lochs der Anodenscheibe kann ferner eine Beschichtung (von typischerweise weniger als $10 \mu\text{m}$ Dicke) und/oder eine oberflächliche Strukturierung vorgesehen sein.

[0016] Unter einer stoffschlüssigen Verbindung wird verstanden, dass ein durchgehender Materialverbund geschaffen ist, nicht aber, dass nur eine mechanische Befestigung (z.B. über eine Schraub- oder Klemmver-

bindung, über mechanische Befestigungselemente, etc.) besteht. Insbesondere wird die stoffschlüssige Verbindung der Lagerbuchse und des Verbindungsstutzens der Anodenscheibe durch Schweißen oder durch Löten hergestellt. Wird die Verbindungszone mikroskopisch im Schliff untersucht, so ist eine Schweißverbindung durch den Fachmann durch eine entsprechende Schweißzone (aufgeschmolzenes oder zumindest plastifiziertes Grundmaterial), sowie eine Lötverbindung durch eine entsprechende Lötzone (Schmelzstruktur des Lotes) erkennbar.

[0017] Die Ausbildung als Flüssigmetalllager-Außenschale ist für den Fachmann anhand der Formgebung erkennbar, insbesondere anhand der innenseitig rotationssymmetrisch zur Drehachse ausgebildeten Flüssigmetalllager-Laufläche sowie der Innenkontur, die die Einführung eines Zapfens (oder anderweitigen Bauteils) mit einer entsprechenden Flüssigmetalllager-Innenschale ermöglicht.

[0018] Ferner ist an der Innenkontur keine Laufrinne für ein Kugellager vorgesehen (auch wenn die Flüssigmetalllager-Laufläche grundsätzlich abgestuft und/oder mit einer Rippe bzw. einer Aussparung versehen sein kann). Optional sind im Bereich der Endabschnitte der Flüssigmetalllager-Außenschale und/oder einer Flüssigmetalllager-Innenschale eine oberflächliche Strukturierung, eine Beschichtung und/oder mechanische Begrenzungselemente zur Rückhaltung des Flüssigmetalls im Bereich des Flüssigmetalllagers vorgesehen.

[0019] Gemäß der Erfindung ist die stoffschlüssige Verbindung, eine Reibschweißverbindung oder eine Strahlschweißverbindung (mit Laser- oder Elektronenstrahl). Der Vorteil der genannten Verbindungstechniken ist, dass damit eine stoffschlüssige Verbindung mit hoher Festigkeit, auch bei den hohen Einsatztemperaturen, erzielbar ist. Insbesondere kann im Bereich der Verbindungszone auf ein Zusatzmaterial (wie ein Lot, ein Schweißzusatzmaterial, etc.), das im Bereich des Flüssigmetalllagers eine störende Verunreinigung (z.B. des Flüssigmetalls) bilden kann, kritisch für die Vakuumstabilität (Einsatz erfolgt im Hochvakuum) sein kann und/oder einen niedrigeren Schmelzpunkt (verglichen mit dem Grundmaterial der verbundenen Bauteile) aufweisen kann, verzichtet werden. Dies ist insbesondere vorteilhaft gegenüber einer Lötverbindung, bei welcher das Lot typischerweise einen niedrigeren Schmelzpunkt und - zumindest bei hohen Temperaturen - eine niedrigere Festigkeit als das Grundmaterial (der verbundenen Bauteile) aufweist.

[0020] Beim nicht erfindungsgemäßen Diffusionsbonds werden die (typischerweise entsprechend präparierten) Oberflächen der zu verbindenden Bauteile aneinandergefügt und durch Anwendung von Druck und Temperatur wird eine Diffusion der Atome im Bereich der Verbindungszone bewirkt, so dass eine stoffschlüssige Verbindung (Diffusionsverbindung) resultiert. Nach dem hier zugrunde gelegten (engeren) Verständnis von Diffusionsbonds findet im Bereich der Verbindungszone

kein Aufschmelzen des Grundmaterials der zu verbindenden Bauteile statt. Eine Diffusionsverbindung ist für den Fachmann durch eine mikroskopische Untersuchung der Verbindungszone im Schliffbild anhand einer entsprechenden Diffusionszone (Diffusionsbereich der miteinander verbundenen Grundmaterialien), in der kein Schmelzgefüge auftritt, erkennbar. Werden materialgleiche Bauteile durch Diffusionsbonds miteinander verbunden, so ist die Diffusionsverbindung ggf. im mikroskopischen Schliffbild nicht erkennbar, da im Bereich der Verbindungszone ein einheitliches und zu dem jeweiligen Grundmaterial durchgehendes Gefüge erzielt werden kann. In diesen Fällen kann das Vorhandensein einer Diffusionsverbindung dann nur anhand der äußeren Geometrie der verbundenen Bauteile (beispielsweise: Anodenscheibe und Lagerbuchse) abgeleitet werden, beispielsweise weil sie in der jeweiligen Gesamtform nicht in einem Stück (z.B. pulvermetallurgisch) herstellbar wären. Eine Strahlschweißverbindung ist durch den Fachmann anhand einer mikroskopischen Untersuchung der Verbindungszone im Schliffbild anhand der Schweißzone, in der ein entsprechendes Schmelzgefüge (der Grundmaterialien und ggf. auch eines zusätzlich eingesetzten Schweißzusatzwerkstoffes) auftritt, sowie an der Wurzel und der Lage der Schmelzzone erkennbar. Eine Strahlschweißverbindung (insbesondere mittels Elektronenstrahlschweißen) ist aufgrund der kleinen Wärmeeinflusszone vorteilhaft. Weiterhin ist das Strahlschweißverfahren besser für Mo-basierte Legierungen als für reines Molybdän geeignet.

[0021] Beim Reibschweißen wird ein Bauteil relativ zu und in Kontakt mit dem anderen zu fügenden Bauteil bewegt (z.B. rotiert), um Wärme an den Stoßflächen zu erzeugen. Die Schweißung wird durch Aufbringen einer Kraft während oder nach dem Aufheben der Relativbewegung (z.B. Rotationsbewegung) fertiggestellt, wobei es mehrere Formen der Energiezufuhr und der Relativbewegung gibt. Vorliegend handelt es sich um die Verbindung weitgehend rotationssymmetrischer Bauteile, weshalb vorzugsweise das eine Bauteil (z.B. die Lagerbuchse bzw. ein Stumpf) in Rotation versetzt und dann in Kontakt mit dem anderen Bauteil (z.B. der Anodenscheibe mit Verbindungsstutzen) gebracht wird, um die Reibungswärme zu erzeugen. Das Reibschweißen, das auch die Verbindung von Bauteilen dickerer Wandstärken (insbesondere 20-130 mm) ermöglicht, bedingt nur eine vergleichsweise niedrige Fügetemperatur im Fügequerschnitt und ist damit in vielen Fällen für Werkstoffe und Werkstoffkombinationen geeignet, die anderweitig schwierig zu schweißen sind (vgl. hierzu auch DIN EN ISO 15620). Dies gilt insbesondere für reines Mo, im Weiteren aber auch für Mo-basierte Legierungen. Eine Reibschweißverbindung ist für den Fachmann an einer mikroskopischen Untersuchung der Verbindungszone im Schliffbild anhand einer typischen Mikrostruktur erkennbar. Insbesondere ist kein Schmelzgefüge erkennbar, da das Grundmaterial während des Reibschweißens nur in einen plastifizierten Zustand versetzt wird. Typi-

scherweise ist die Schweißzone vergleichsweise schmal und hat ein feinkörniges Gefüge. Konkret bei einer Reibschweißverbindung der Lagerbuchse und der Anodenscheibe mit Verbindungsstutzen, die jeweils aus Mo und/oder (einer) Mo-basierten Legierung gebildet sind, sind im Bereich der Schweißzone mehrere Teilzonen (zwischen dem Grundmaterial der Lagerbuchse und dem Verbindungsstutzen der Anodenscheibe) mit leicht unterschiedlichem Gefüge erkennbar. Dies betrifft insbesondere die Korngrößenverteilung und die Kornausrichtung. Typischerweise sind die Körner in die Richtung des Materialflusses, der insbesondere bei Ausbildung der Schweißwulst erfolgt, gestreckt. Zonen unterschiedlicher Kornstreckung (mit hoher Kornstreckung nahe an der Lagerbuchse und niedrigerer Kornstreckung nahe an der Anodenscheibe mit Verbindungsstutzen) treten insbesondere dann auf, wenn die Lagerbuchse eine hohe Kornstreckung und die Anodenscheibe mit Verbindungsstutzen eine niedrigere Kornstreckung aufweist, was diesen Bauteilen durch deren jeweiligen Herstellungsprozess aufgeprägt wird. Makroskopisch deutet ferner auf eine Reibschweißverbindung hin, wenn auf der Anodenscheibe der vorstehende Verbindungsstutzen eingesetzt wird, um während des Reibschweißens die Ausbildung einer Schweißwulst (aufgrund des Materialflusses während der Stauchphase) zu ermöglichen. Dies ist insbesondere an einer von der Anodenscheibe beabstandeten Schweißzone zwischen dem Verbindungsstutzen und der Lagerbuchse erkennbar.

[0022] Gemäß einer Weiterbildung ist/sind die Mo-basierte(n) Legierung(en) (der Anodenscheibe mit Verbindungsstutzen und/oder der Lagerbuchse) MHC und/oder TZM. Insbesondere ist das Grundmaterial der Lagerbuchse (d.h. abgesehen von Beschichtungen, Anbauteilen, etc.) aus MHC und/oder TZM (vorzugsweise nur aus MHC oder nur aus TZM). Insbesondere ist das Grundmaterial der Anodenscheibe mit Verbindungsstutzen (d.h. abgesehen von Beschichtungen, Anbauteilen, etc.) aus MHC und/oder TZM (vorzugsweise nur aus MHC oder nur aus TZM). Beide Legierungen (MHC, TZM) weisen eine hohe Festigkeit und Härte auf. Ihre mechanischen Eigenschaften bleiben bei hohen Temperaturen weitestgehend erhalten, wodurch höhere Prozesstemperaturen bei der Herstellung wie auch höhere Einsatztemperaturen der Röntgendrehanode möglich sind. Dies gilt insbesondere bei MHC für Temperaturen bis 1250°C und für TZM bis 1100°C. MHC ist damit für den Hochleistungsbereich und für hohe Einsatztemperaturen besonders gut geeignet.

[0023] MHC ist eine von der Anmelderin Plansee SE angebotene Mo-basierte Legierung, die nachfolgende Zusammensetzung aufweist:

- einen Hf-Gehalt von 1,00 - 1,30 Gew.% (Gew.-%: Gewichtsprozent),
- einen C-Gehalt von 500-1.200 µg/g (µg: Mikrogramm),
- Rest Mo (typischerweise $\geq 97,0$ Gew.%, vorzugs-

weise $\geq 98,0$ Gew.%, wobei der Mo-Gehalt bei entsprechend niedrigem Anteil von Verunreinigungen sogar $\geq 98,5$ Gew.% sein kann).

[0024] TZM ist eine in dem Standard ASTM B387 (364) spezifizierte und von der Anmelderin Plansee SE angebotene Mo-basierte Legierung, die für die vorliegende Anwendung nachfolgende Zusammensetzung aufweist:

- einen Ti-Gehalt von 0,40-0,55 Gew.%,
- einen Zr-Gehalt von 0,06-0,12 Gew.%,
- einen C-Gehalt von 50-500 µg/g, wobei dieser speziell für den Anwendungsbereich von Röntgendrehanoden sehr gut geeignete Bereich etwas breiter als der im Standard ASTM B387 (364) spezifizierte Bereich von 100-400 µg/g ist,
- Rest Mo (typischerweise $\geq 98,0$ Gew.%, vorzugsweise $\geq 99,0$ Gew.%, wobei der Mo-Gehalt bei entsprechend niedrigem Anteil von Verunreinigungen sogar $\geq 99,3$ Gew.% sein kann).

[0025] Der mögliche bzw. zulässige Gehalt an gegebenenfalls vorhandenen Verunreinigungen wird typischerweise nicht für alle Elemente spezifiziert, sondern insbesondere für diejenigen, die typischerweise enthalten sind und/oder bei denen ein zu hoher Gehalt für die vorteilhaften Eigenschaften der Legierung kritisch wäre. Vor diesem Hintergrund sind die nachfolgenden zulässigen Bereiche an Verunreinigungen besonders vorteilhaft: Insbesondere ist der Gehalt an metallischen Verunreinigungen bei MHC und bei TZM in Summe ≤ 5000 µg/g. Insbesondere ist bei MHC und TZM gemäß der besonders vorteilhaften Spezifikation der Plansee SE der Gehalt an Al (Aluminium) und Ni (Nickel) jeweils ≤ 10 µg/g, der Gehalt an Cr (Chrom), Cu (Kupfer), Fe (Eisen), K (Kalium), und Si (Silicium) jeweils ≤ 20 µg/g, der Gehalt an W (Wolfram) ≤ 300 µg/g, der Gehalt an Cd (Cadmium) und Pb (Blei) jeweils ≤ 5 µg/g und der Gehalt an Hg (Quecksilber) ≤ 1 µg/g. Der Gehalt an gegebenenfalls vorhandenen Verunreinigungen durch H (Wasserstoff), N (Stickstoff) und O (Sauerstoff) ist bei MHC in Summe ≤ 1000 µg/g. Insbesondere ist bei MHC gemäß der Spezifikation der Plansee SE der Gehalt an H und N jeweils ≤ 10 µg/g und der Gehalt an O ≤ 600 µg/g. Der Gehalt an gegebenenfalls vorhandenen Verunreinigungen durch H, N, O und C (Kohlenstoff) ist bei TZM in Summe ≤ 1500 µg/g. Insbesondere ist bei TZM gemäß der Spezifikation der Plansee SE der Gehalt an H und N jeweils ≤ 10 µg/g und der Gehalt an O ≤ 500 µg/g. Je nach Herstellprozess sind Verunreinigungen durch Cr (VI) und organische Verunreinigungen möglich und akzeptabel bis zu einem Maximalwert von jeweils ≤ 1000 µg/g, bei den von Plansee SE angebotenen Legierungen sind sie typischerweise nicht nachweisbar. Die Summe S an allen Verunreinigungen ist für MHC als auch für TZM vorteilhafterweise möglichst im Bereich von $0 \leq S \leq 6000$ µg/g, wobei W (Wolfram) als typische Verunreinigung vorzugsweise einen Anteil von ≤ 300 µg/g aufweist.

[0026] Grundsätzlich können die Anodenscheibe mit Verbindungsstutzen und die Lagerbuchse aus unterschiedlichen Materialien sein. Gemäß einer Weiterbildung sind die Anodenscheibe mit Verbindungsstutzen und die Lagerbuchse beide aus Molybdän oder beide aus derselben Molybdän-basierten Legierung gebildet. Dies ist insbesondere für die stoffschlüssige Verbindung (bei einer Reibschweißverbindung oder einer Strahlschweißverbindung) aufgrund der gleichen Materialeigenschaften beider Bauteile vorteilhaft (z.B. beide aus MHC oder auch beide aus TZM). Wie für den Fachmann klar ist, wird auch dann noch von "derselben" Molybdän-basierten Legierungen gesprochen, wenn geringfügige Unterschiede in der Zusammensetzung vorliegen. Nur "geringfügige Unterschiede" sind insbesondere gegeben, wenn beide Zusammensetzungen innerhalb der Spezifikation der betreffenden Mo-basierten Legierung (z.B. für TZM oder MHC wie oberhalb angegeben) liegen. Falls es keine Spezifikation der betreffenden Legierung gibt, liegen in der Regel auch dann nur "geringfügige Unterschiede" vor, wenn der Unterschied im Mo-Gehalt ≤ 2 Gew.%, von nichtmetallischen Legierungsbestandteilen (z.B. C, N) in Summe $\leq 0,2$ Gew.% sowie von ggf. vorhandenen metallischen Legierungsbestandteilen in Summe ≤ 1 Gew.% sowie von W $\leq 0,05$ Gew.% beträgt (bzgl. Verunreinigungen gelten insbesondere die oberhalb für TZM und MHC angegebenen Bereiche).

[0027] Gemäß einer Weiterbildung ist die stoffschlüssige Verbindung eine Reibschweißverbindung. Dies ist vorteilhaft im Hinblick auf die Erzielung einer hohen Festigkeit und Temperaturbeständigkeit der Verbindung. Ferner besteht bei der Reibschweiß-Technologie eine hohe Reproduzierbarkeit und ein hoher Automatisierungsgrad. Vorzugsweise wird beim Reibschweißen auf ein Zusatzmaterial (wie z.B. ein Schweißzusatzmaterial, ein zwischen die zu verbindenden Bauteile eingefügter Einsatz, etc.) verzichtet, d.h. insbesondere ist in dem Bereich der stoffschlüssigen Verbindung kein von dem Grundmaterial der verbundenen Bauteile abweichendes Fremdmaterial bzw. keine abweichende Zusammensetzung nachweisbar. Mo-basierte Legierungen sind beim Reibschweißen gegenüber reinem Mo bevorzugt. Noch bevorzugter sind die beiden Bauteile (Anodenscheibe mit Verbindungsstutzen, Lagerbuchse) aus derselben Mo-basierten Legierung gebildet (z.B. beide aus MHC, beide aus TZM, etc.), da hierdurch eine besonders hohe Stabilität und Qualität der Reibschweißverbindung erzielbar ist. Besonders vorteilhaft beim Reibschweißen (im Vergleich zu z.B. einem Strahlschweißverfahren) ist, dass in der Verbindungszone keine Schmelze ausgebildet, sondern das Grundmaterial der zu verbindenden Bauteile nur plastifiziert wird. Dadurch wird im Bereich der Verbindungszone ein vorteilhaftes Gefüge eingestellt und eine homogene Verteilung der enthaltenen Elemente/Verbindungen (z.B. einer Mo-basierten Legierung) bleibt erhalten.

[0028] Gemäß der Erfindung weist die Anodenscheibe zu der Seite der Lagerbuchse hin einen Verbindungss-

tutzen auf, der mit seiner Innenwand das Loch der Anodenscheibe verlängert und der gegenüber der außen-seitig umliegenden Fläche der Anodenscheibe vorsteht. Dabei ist zumindest ein axialer Abschnitt der Innenwand des Verbindungsstutzens umlaufend als Flüssigmetall-lager-Lauffläche ausgebildet und bildet (neben der Innenwand des Lochs der Anodenscheibe und ggf. weiteren Abschnitten) einen Teil des zweiten Teilabschnittes der Flüssigmetalllager-Außenschale. Weiterhin ist die stoffschlüssige Verbindung zwischen dem vorstehenden Verbindungsstutzen der Anodenscheibe und der Lagerbuchse ausgebildet. Durch den vorstehenden Verbindungsstutzen, der insbesondere eine rohrförmige oder hohlzylindrische Grundform aufweisen kann, ist die stoffschlüssige Verbindung zwischen der Anodenscheibe und der Lagerbuchse leichter herstellbar. Dies gilt insbesondere im Falle einer Reibschweißverbindung (aber auch bei einer Strahlschweißverbindung), da damit im Wesentlichen zwei gleich ausgebildete, miteinander zu verbindende Abschnitte (insbesondere mit umlaufender Wand und ringförmigen Stirnflächen) bereitgestellt werden. Ferner ist damit die stoffschlüssige Verbindung von der außen-seitig umliegenden Fläche der Anodenscheibe beabstandet, z.B. um 2-50 mm, vorzugsweise um 5-30 mm (Bereiche gelten für die fertiggestellte stoffschlüssige Verbindung). Dadurch wird ausreichend Platz für die Ausbildung der Schweißwulst, die sich insbesondere bei einer Reibschweißverbindung durch den Materialfluss während der Stauchphase ausbildet, geschaffen (die Schweißwulst wird anschließend durch Nachbearbeiten entfernt). Die ursprüngliche axiale Länge des Verbindungsstutzens (vor Herstellung der stoffschlüssigen Verbindung) ist insbesondere bei Anwendung eines Reibschweißprozesses länger als die später gewünschte Position der stoffschlüssigen Verbindung zu wählen, z.B. um 3-8 mm länger, da während des Reibschweißens eine Stauchung erfolgt. Der Verbindungsstutzen ist vorzugsweise monolithisch mit der Anodenscheibe ausgebildet, was hinsichtlich der Stabilität und der Laufeigenschaften vorteilhaft ist. Vorzugsweise wird der Verbindungsstutzen im Rahmen eines Schmiedeprozesses monolithisch aus dem Material der Anodenscheibe geformt. Alternativ kann er auch stoffschlüssig mit der Anodenscheibe verbunden sein.

[0029] Gemäß einer Weiterbildung ist das Loch der Anodenscheibe als Durchgangs-Loch ausgebildet und die Anodenscheibe weist gegenüberliegend von der Seite der Lagerbuchse einen Verlängerungsstutzen auf, der mit seiner Innenwand das Durchgangs-Loch der Anodenscheibe verlängert und der gegenüber der außen-seitig umliegenden Fläche der Anodenscheibe vorsteht. Dabei ist zumindest ein axialer Abschnitt der Innenwand des Verlängerungsstutzens umlaufend als Flüssigmetall-lager-Lauffläche ausgebildet und bildet (neben der Innenwand des Lochs der Anodenscheibe, des Verbindungsstutzens und ggf. weiteren Abschnitten) einen Teil des zweiten Teilabschnittes der Flüssigmetalllager-Außenschale. Die Vorsehung eines solchen Verlänge-

rungsstutzens ist hinsichtlich der Stabilität und der Laufeigenschaften der Flüssigmetalllager-Außenschale vorteilhaft (insbesondere da dann zu beiden Seiten der Anodenscheibe eine Verlängerung der Flüssigmetalllager-Laufläche bereitgestellt wird). Entsprechend wie bei dem Verbindungsstutzen kann auch der Verlängerungsstutzen vorzugsweise monolithisch mit der Anodenscheibe ausgebildet sein (z.B. durch Schmieden ausgeformt) oder alternativ mit der Anodenscheibe stoffschlüssig verbunden sein. Vorzugsweise bildet der Verlängerungsstutzen und ggf. vorhandene, weitere Bauteile dann den Abschluss der Flüssigmetalllager-Außenschale. Alternativ kann aber auch - je nach Aufbau des Flüssigmetalllagers - mit dem Verlängerungsstutzen nochmals eine Lagerbuchse stoffschlüssig verbunden sein und damit die Flüssigmetalllager-Außenschale noch weiter verlängern, wobei hier die Varianten, die für die Verbindung des Verbindungsstutzens mit der Lagerbuchse beschrieben sind, ebenfalls möglich sind.

[0030] Gemäß einer Weiterbildung nimmt die Dicke (gemessen in axialer Richtung) der Anodenscheibe in radialer Richtung zu der Drehachse hin zu. Diese Dickenzunahme kann kontinuierlich (mit konstanter Steigung oder auch mit einem variierenden Dickenprofil) oder auch in einer oder mehreren Stufen erfolgen. Damit kann die im Bereich der Brennbahn erzeugte Wärme zu der Drehachse hin auf einen zunehmend größeren Materialquerschnitt aufgeteilt und dann über die große Fläche der Flüssigmetalllager-Außenschale effektiv (über das in dem Lagerspalt angeordnete Flüssigmetall und dann über die Flüssigmetalllager-Innenschale und die daran angrenzenden Bauteile, wie z.B. über einen Zapfen mit Kühlmittel-Kühlung) abgeführt werden. Durch diesen radial nach Innen zunehmenden Materialquerschnitt werden lokal auftretende Temperaturspitzen sowie eine zu hohe Temperatur im Bereich des Flüssigmetalllagers, die zu einer Schädigung des Flüssigmetalllagers sowie zu Spannungen in der Anodenscheibe führen könnten, vermieden. Gemäß einer Weiterbildung beträgt die Dickenzunahme ausgehend von einer Referenzdicke radial mittig gemessen im Bereich einer abgeschrägten Brennbahnfläche bis hin zu der Dicke im Bereich des Loches 30-300%, insbesondere 50-260%, noch bevorzugter 70-230% (eine Dickenzunahme um 100% entspricht einer Verdoppelung der Dicke). Dies ist besonders vorteilhaft im Hinblick auf die Wärmeabführung wie auch hinsichtlich der Stabilität und der Laufeigenschaften der Flüssigmetalllager-Außenschale. Als "Dicke im Bereich des Loches" wird die Dicke der Anodenscheibe direkt im Bereich der Innenwand des Loches bezeichnet, wobei bei dieser Dickenmessung auch ggf. monolithisch mit der Anodenscheibe ausgebildete Abschnitte, wie z.B. ein monolithisch ausgebildeter Verbindungsstutzen und/oder ein monolithisch ausgebildeter Verlängerungsstutzen, einbezogen werden, nicht aber nur stoffschlüssig mit der Anodenscheibe verbundene Bauteile (z.B. die Lagerbuchse). Vorzugsweise nimmt aber auch die Anodenscheibe ohne Einbeziehung der ggf. monolithisch

ausgebildeten Verbindungsstutzen und/oder Verlängerungsstutzen in der Dicke radial nach innen zu. Insbesondere beträgt letztere Dickenzunahme 20-150%, bevorzugt 30-100%, wobei bei Vorsehung eines monolithischen Verbindungs- und/oder Verlängerungsstutzens an Stelle des "Bereiches des Loches" ein unmittelbar (radial) außerhalb von diesem Verbindungs- und/oder Verlängerungsstutzen gelegener Referenzbereich herangezogen wird.

[0031] Gemäß einer Weiterbildung weist die Anodenscheibe mehrere, umlaufend gleichmäßig angeordnete und durch die Dicke der Anodenscheibe hindurchgehende Schlitze auf, die sich jeweils über einen radialen Abschnitt im Bereich zwischen einem Außenumfang der Anodenscheibe und dem Loch der Anodenscheibe erstrecken. Derartige Schlitze ermöglichen im Einsatz bei den auftretenden erhöhten Temperaturen eine Dehnung des Materials der Anodenscheibe, ohne dass es sich dabei plastisch verformt, wodurch Spannungen innerhalb des Materials und damit eine Materialermüdung bzw. ein Materialversagen vermieden werden. Derartige Schlitze können sich dabei exakt radial erstrecken. Alternativ können sie aber auch leicht schräg zur radialen Richtung verlaufen (z.B. mit einem Winkel von $>0^\circ$ bis zu 5°). Der Verlauf in Bezug auf die radiale Richtung, der Verlauf in Bezug auf die axiale Richtung (auch hier können sie leicht geneigt zur axialen Richtung verlaufen, z.B. geneigt um einen Winkel im Bereich von 1° - 10°), und/oder die Breite der Schlitze kann/können gemäß einer vorgegebenen Kontur variieren. Ferner können an mindestens einem Ende der Schlitze (vorzugsweise am radial inneren Ende) auch Abschlussbohrungen, die sich vorzugsweise durch die Dicke der Anodenscheibe hindurch erstrecken und jeweils einen größeren Durchmesser als die Breite der einmündenden Schlitze aufweisen, und/oder eine umlaufende Rinne vorgesehen sein. Vorzugsweise erstrecken sich die Schlitze bis ganz zum Außenumfang, d.h. öffnen sich in den Außenumfang, während sie radial außerhalb von dem Loch der Anodenscheibe enden. Vorzugsweise sind alle Schlitze symmetrisch zueinander in Bezug auf die Drehachse ausgebildet. Die Vorsehung solcher Schlitze ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn die Dicke der Anodenscheibe zu der Drehachse hin zunimmt.

[0032] Die vorliegende Erfindung betrifft ferner ein Röntgendrehanodensystem aufweisend eine erfindungsgemäße Röntgendrehanode mit integrierter Flüssigmetalllager-Außenschale, die ggf. auch gemäß einer oder mehrerer der oberhalb erläuterten Weiterbildungen ausgebildet sein kann, sowie eine in die Flüssigmetalllager-Außenschale eingesetzte Flüssigmetalllager-Innenschale, die eine Flüssigmetalllager-Laufläche aufweist, wobei die Flüssigmetalllager-Außenschale und die Flüssigmetalllager-Innenschale derart aufeinander abgestimmt sind, dass zwischen Ihnen ein definierter Lagerspalt ausgebildet ist (Spaltbreite insbesondere wie oberhalb angegeben).

[0033] Gemäß einer Weiterbildung ist im Bereich von

zumindest einem axialen Endabschnitt (axial: bezogen auf die Drehachse) der Flüssigmetalllager-Laufläche an der Flüssigmetalllager-Außenschale und/oder der Flüssigmetalllager-Laufläche an der Flüssigmetalllager-Innenschale mindestens ein umlaufendes mechanisches Begrenzungselement vorgesehen, welches im Einsatz ein Fließen von in dem Lagerspalt befindlichen Flüssigmetall in axialer Richtung begrenzt. Das mechanische Begrenzungselement dient folglich der Rückhaltung des Flüssigmetalls in dem (axial) inneren Bereich des Flüssigmetalllagers, wo es zur Erzielung der Gleitwirkung benötigt wird. Das mechanische Begrenzungselement kann insbesondere durch eines oder mehrere der folgenden Varianten gebildet sein:

- eine durch mehrere Stufen ausgebildete Fortsetzung des Lagerspalts, zur Bildung einer Labyrinth-Dichtung (vgl. z.B. JP 2012/084400 A);
- eine oder mehrere umlaufende (durchgehende oder auch in Umfangsrichtung über kurze Abschnitte unterbrochene) Rippe(n) an der einen (z.B. stationären, inneren) Komponente und entsprechende Rinne(n) an der anderen (z.B. rotierenden, äußeren) Komponente des Flüssigmetalllagers, wodurch gleichzeitig auch eine axiale Fixierung des Flüssigmetalllagers bereitgestellt wird; im Falle mehrerer Rippen können diese auch wechselseitig an der einen und an der anderen Komponente vorgesehen sein;
- einem Dichtungsring aus einem Material (z.B. eine Eisen, Nickel und Kobalt enthaltende Legierung), das mit dem in dem Lagerspalt befindlichen Flüssigmetall in Wechselwirkung tritt (vgl. z.B. DE 10 2015 204 488 A1).

[0034] Gemäß einer Weiterbildung ist im Bereich von zumindest einem axialen Endabschnitt der Flüssigmetalllager-Laufläche an der Flüssigmetalllager-Außenschale und/oder der Flüssigmetalllager-Laufläche an der Flüssigmetalllager-Innenschale eine umlaufende Beschichtung vorgesehen, welche eine Benetzung durch das im Einsatz in dem Lagerspalt befindliche Flüssigmetall unterdrückt. Hierdurch wird das Flüssigmetall im (axial) inneren Bereich des Flüssigmetalllagers, wo es zur Erzielung der Gleitwirkung benötigt wird, zurückgehalten. Geeignete Beschichtungen sind u.a. Titanoxide, Aluminiumoxide, Titanitride sowie Mischungen daraus, insbesondere CrN (Chromnitrid), Cr₂N (Dichromnitrid), Cr₂O₃ (Chrom (III)-Oxid), TiAlN (Titanaluminiumnitrid) (vgl. z.B. US 2017/0169984 A1). Die Beschichtung kann sowohl an der Flüssigmetalllager-Innenschale als auch an der Flüssigmetalllager-Außenschale vorgesehen sein. Ggf. kann sie aber auch nur an einer (z.B. nur an der Flüssigmetalllager-Innenschale) vorgesehen sein. Ferner kann sie auch im Bereich von mindestens einem mechanischen Begrenzungselement vorgesehen sein.

[0035] Gemäß einer Weiterbildung ist die Flüssigmetalllager-Innenschale auf einem Zapfen, der durch die

Lagerbuchse hindurch bis zumindest in das Loch der Anodenscheibe geführt ist, ausgebildet. Vorzugsweise weist der Zapfen mindestens einen Kühlmittelkanal zur Führung von Kühlmittel auf. Falls das Loch als Durchgangsloch ausgebildet ist, erstreckt sich der Zapfen vorzugsweise ebenfalls vollständig durch dieses Durchgangsloch. Der Zapfen kann dabei vorzugsweise aus einem Bauteil (einteilig) ausgebildet sein, da dies im Hinblick auf dessen Stabilität und die Dichtheit des Kühlmittelkanals von Vorteil ist. Alternativ kann er auch aus mehreren Bauteilen, die form- und/oder stoffschlüssig miteinander verbunden sind, ausgebildet sein, was insbesondere bei einem komplexen Aufbau des Flüssigmetalllagers vorteilhaft sein kann. Durch den mindestens einen Kühlmittelkanal, der sich vorzugsweise über mindestens 80% der Länge des Zapfens erstreckt, kann im Einsatz die Wärme effektiv abgeführt werden.

[0036] Gemäß einer Weiterbildung weist die Flüssigmetalllager-Laufläche an der Flüssigmetalllager-Außenschale und/oder die Flüssigmetalllager-Laufläche an der Flüssigmetalllager-Innenschale mindestens zwei umlaufende, oberflächlich strukturierte Laufabschnitte auf, die in axialer Richtung voneinander beabstandet sind. Vorzugsweise ist zwischen den mindestens zwei oberflächlich strukturierten Laufabschnitten mindestens ein Abschnitt ohne oberflächlicher Strukturierung vorgesehen. In dem Bereich der oberflächlich strukturierten Laufabschnitte sammelt sich im Einsatz bei Rotation der rotierenden Komponente Flüssigmetall an und bildet einen erhöhten Druck aus. Hierdurch wird eine besonders gute Gleitwirkung erzielt. Gleichzeitig wird eine Fixierung der rotierenden und der statischen Komponenten in radialer Richtung relativ zueinander erzielt. Durch die Vorrichtung von mindestens zwei solcher Laufabschnitte wird auch eine Verkipfung sowie eine Vibration der Röntgendrehanode im Einsatz vermieden. Besonders vorteilhaft ist dabei, wenn ein oberflächlich strukturierter Laufabschnitt in einem vollständig innerhalb der Anodenscheibe angeordneten Bereich ausgebildet ist oder zumindest mit diesem Bereich überlappend ausgebildet ist. Die oberflächliche Strukturierung kann dabei z.B. als Rillenmuster (aufweisend z.B. einen oder mehrere Teilbereiche mit jeweils parallel zueinander verlaufenden Rillen) ausgebildet sein. Die oberflächlich strukturierten Laufabschnitte können grundsätzlich sowohl an der Flüssigmetalllager-Innenschale wie auch an der -Außenschale vorgesehen sein. Grundsätzlich können oberflächlich strukturierte Laufabschnitte auch gegenüberliegend voneinander (bezogen auf den Lagerspalt) ausgebildet sein. Bevorzugt ist jedoch, dass im Bereich eines oberflächlich strukturierten Laufabschnittes einer Komponente (z.B. an der Flüssigmetalllager-Innenschale) die andere Komponente in dem gegenüberliegenden Bereich keinen oberflächlich strukturierten Laufabschnitt aufweist.

[0037] Die vorliegende Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Herstellen einer erfindungsgemäßen Röntgendrehanode, die ggf. auch gemäß einer oder mehrerer

der oberhalb erläuterten Weiterbildungen und Varianten ausgebildet sein kann, wobei das Verfahren nachfolgende Schritte aufweist:

- Bereitstellen einer Anodenscheibe mit Verbindungsstutzen aus Mo oder einer Mo-basierten Legierung,
- Bereitstellen eines Stumpfes aus Mo oder einer Mo-basierten Legierung,
- Stoffschlüssiges Verbinden des Stumpfes mit dem Verbindungsstutzen der Anodenscheibe derart, dass der Stumpf bezogen auf eine Drehachse der Anodenscheibe zentral angeordnet ist, und
- Mechanisches Bearbeiten der Anodenscheibe und des Stumpfes zur Ausbildung der Röntgendrehanode mit integrierter Flüssigmetalllager-Außenschale, wobei der Stumpf die Lagerbuchse mit der Flüssigmetalllager-Laufläche bildet und die Anodenscheibe mit Verbindungsstutzen das Loch aufweist, bei dem zumindest ein axialer Abschnitt der Innenwand umlaufend als Flüssigmetalllager-Laufläche ausgebildet ist.

[0038] Das Verfahren stellt eine kostengünstige und prozesssichere Herstellungsrouten zur Herstellung erfindungsgemäßer Röntgendrehanoden her. Weiterhin sind die oberhalb erläuterten Weiterbildungen und Varianten auch bei dem erfindungsgemäßen Verfahren durch Vorsehen entsprechender Verfahrensschritte möglich, wobei die oberhalb erläuterten Vorteile erzielt werden.

[0039] Vorzugsweise erfolgt das Bereitstellen der Anodenscheibe mit Verbindungsstutzen und/oder des Stumpfes im Rahmen einer pulvermetallurgischen Herstellung. Diese umfasst insbesondere das Pressen und Sintern entsprechender Ausgangspulver, vorzugsweise auch ein Umformen (z.B. Walzen, Schmieden, Rundwalzen, Rundschmieden, etc.). Ein Loch in der Anodenscheibe und/oder ein Durchgangsloch in der Lagerbuchse können bereits vor dem stoffschlüssigen Verbinden vorgeformt sein, wodurch das mechanische Nachbearbeiten weniger aufwändig ist. Alternativ können sie auch im Rahmen des mechanischen Bearbeitens herausgearbeitet werden (d.h. die Anodenscheibe und/oder der Stumpf weisen vor dem stoffschlüssigen Verbinden noch kein Loch bzw. Durchgangsloch auf). Vorzugsweise erfolgt das stoffschlüssige Verbinden durch Reibschweißen. Ein Brennbahnbelag kann bereits vor dem stoffschlüssigen Verbinden auf der Anodenscheibe aufgebracht sein (z.B. im Rahmen einer pulvermetallurgischen Herstellung im Verbund), er kann aber auch nachträglich aufgebracht sein, z.B. durch thermisches Spritzen (z.B. Vakuum-Plasma-Spritzen), durch chemische Gasphasenabscheidung (CVD: chemical vapour deposition) oder durch physikalische Gasphasenabscheidung (PVD: physical vapour deposition). Weitere Anbauteile, Beschichtungen, Beläge, etc., die eingangs erläutert wurden, können im Rahmen der Herstellung ebenfalls noch ergänzt werden.

[0040] Weitere Vorteile und Zweckmäßigkeiten der Erfindung ergeben sich anhand der nachfolgenden Beschreibung von erfindungsgemäßen Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren.

[0041] Von den Figuren zeigen:

- Fig. 1: Eine perspektivische Ansicht einer erfindungsgemäßen Röntgendrehanode im Querschnitt gemäß einer ersten Ausführungsform;
- Fig. 2A, 2B: zwei Querschnittsansichten der Röntgendrehanode aus Fig. 1 zur Veranschaulichung der Herstellung;
- Fig. 3: eine Querschnittsansicht einer erfindungsgemäßen Röntgendrehanode gemäß einer zweiten Ausführungsform;
- Fig. 4: eine Querschnittsansicht einer erfindungsgemäßen Röntgendrehanode gemäß einer dritten Ausführungsform;
- Fig. 5: eine Querschnittsansicht einer nicht erfindungsgemäßen Röntgendrehanode;
- Fig. 6: eine Querschnittsansicht einer erfindungsgemäßen Röntgendrehanode gemäß einer vierten Ausführungsform;
- Fig. 7: eine Querschnittsansicht einer nicht erfindungsgemäßen Röntgendrehanode;
- Fig. 8: eine Querschnittsansicht einer nicht erfindungsgemäßen Röntgendrehanode; und
- Fig. 9: eine Querschnittsansicht eines erfindungsgemäßen Röntgendrehanodensystems mit eingesetztem Zapfen, wobei oberhalb der Querschnittsansicht zwei Varianten A und B des Zapfens, jeweils einmal in Draufsicht und einmal in Querschnittsansicht, dargestellt sind.

[0042] Die Fig. 1-4, 6 und 9 stellen schematische Darstellungen dar, in denen die Größenverhältnisse nicht exakt wiedergegeben sowie die Details der axial endseitigen Abschlüsse der Flüssigmetalllager-Außenschale bzw. des Flüssigmetalllagers nicht dargestellt sind. Für die axial endseitigen Abschlüsse des Flüssigmetalllagers sind - wie in dem Fachgebiet bekannt ist - unterschiedliche Ausgestaltungen möglich, wobei Beispiele hierfür unter anderem in den DE 10 2015 204 488 A1, US 2016/0086760 A1, US 5,204,890 A, JP 2012/084400 A und US 2017/0169984 A1 gezeigt sind. D.h. in den Darstellungen der Fig. 1-4, 6 und 9 können sich die Lagerbuchse, die Anodenscheibe und der Zapfen in axialer Richtung auch noch weiter - mit einem ggf. abweichenden Verlauf bzw. abweichender Ausgestaltung - fortsetzen und/oder auch noch mit weiteren Bauteilen verbunden sein.

[0043] Nachfolgend wird anhand der Figuren 1 und 2A, 2B eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Röntgendrehanode 2 erläutert. Diese weist eine in ihrer Grundform rotationssymmetrisch zu einer Drehachse

se 4 (axiale Richtung) ausgebildete Anodenscheibe 5 aus MHC auf. Auf einer Seite der Anodenscheibe 5 befindet sich eine umlaufende Brennbahn 6 mit einem Brennbahnbelag aus einer W-Re-Legierung (W: 95 Gew.%; Re: 5 Gew.%). In dem Bereich der Brennbahn 6 weist die Anodenscheibe 5 eine umlaufende abge-
 5 schrägte Brennbahnfläche 10 auf, die relativ zu einer sich senkrecht zu der Drehachse 4 erstreckenden Referenzebene 8 (mit einem Winkel α) abgewinkelt ist. Durch die Anodenscheibe 5 erstreckt sich ein Loch 12 dessen
 10 Innenwand 14 als Flüssigmetalllager-Laufläche ausgebildet ist. Gegenüberliegend von der Seite der Brennbahn 6 weist die Anodenscheibe einen monolithisch ausgebildeten, aus dem Material der Anodenscheibe 5 angeschmiedeten, rohrförmigen Verbindungsstutzen 16 auf, der gegenüber der außenseitig umliegenden Fläche der Anodenscheibe 5 vorsteht. Seine Innenwand 18 ver-
 15 längert das Loch 12 der Anodenscheibe 5 und ist ebenfalls als Flüssigmetalllager-Laufläche ausgebildet. Eine rohrförmige Lagerbuchse 20, die ebenfalls aus MHC ausgebildet ist, ist mit ihrer axialen (ringförmigen) Stirn-
 20 fläche über eine stoffschlüssige Verbindung 21 mit der entsprechend ausgebildeten, axialen (ringförmigen) Stirnfläche des Verbindungsstutzens 16 verbunden. Die Innenwand 22 der Lagerbuchse 20 ist umlaufend als Flüssigmetalllager-Laufläche ausgebildet. Die Flüssigmetalllager-Lauflächen der Anodenscheibe 5, des Verbindungsstutzens 16 und der Lagerbuchse 20 bilden
 25 gemeinsam eine durchgehende, sich vorliegend linear in Form einer Zylinder-Mantelfläche erstreckende Flüssigmetalllager-Laufläche, die Teil einer Flüssigmetalllager-Außenschale bildet. In Fig. 2A sind die Lagerbuchse 20 und die Anodenscheibe 5 noch als separate Bauteile und in Fig. 2B schließlich nach Herstellung der stoffschlüssigen Verbindung 21 über Reibschweißen (und einer me-
 30 chanischen Nachbearbeitung) gezeigt. Wie erläutert, führt das Reibschweißen in axialer Richtung zu einer Verkürzung des Verbindungsstutzens 16 und der Lagerbuchse 20 im Bereich der Verbindungszone.

[0044] Bei der nachfolgenden Beschreibung weiterer Ausführungsformen werden - soweit gleiche oder weit-
 35 gehend gleiche Bauteile betroffen sind - gleiche Bezugszeichen verwendet und es wird vorwiegend auf die Unterschiede gegenüber der ersten Ausführungsform eingegangen.

[0045] Bei der in Fig. 3 gezeigten zweiten Ausführungsform nimmt die (in axialer Richtung gemessene) Dicke der Anodenscheibe 5' radial nach innen kontinuierlich zu. Insbesondere nimmt die Dicke ausgehend von einer Referenzdicke d_R (radial mittig gemessen im Be-
 40 reich der abgeschrägten Brennbahnfläche 10) bis hin zu der maximalen Dicke d_{II} im Bereich des Loches 12 (unter Einbeziehung aller monolithisch mit der Anodenscheibe 5' verbundenen Bauteile, d.h. vorliegend des Verbindungsstutzens 16) um 30 -300% zu. Ferner nimmt die Dicke ausgehend von der Referenzdicke d_R auch ohne Einbeziehung des monolithisch ausgebildeten Verbindungsstutzens 16 radial nach innen um 20-150% zu,

wobei die hierfür maßgebliche Dicke d_I im inneren Bereich dann unmittelbar (radial) außerhalb von dem Verbindungsstutzen 16 gemessen wird.

[0046] Bei der in Fig. 4 gezeigten dritten Ausführungsform weist die Anodenscheibe 5 - im Vergleich zu der ersten Ausführungsform - auf der Seite gegenüberliegend von der Lagerbuchse 20 einen Verlängerungsstutzen 24 auf, der mit seiner Innenwand 26 das (Durchgangs-)Loch 12 der Anodenscheibe 5 verlängert und der gegenüber der außenseitig umliegenden Fläche der Anodenscheibe 5 vorsteht. Die Innenwand 26 des Verlängerungsstutzens 24 ist ebenfalls umlaufend als Flüssigmetalllager-Laufläche ausgebildet und bildet damit Teil der Flüssigmetalllager-Außenschale. Ferner ist in Fig. 4 die Dickenzunahme ausgehend von der Referenzdicke d_R bis hin zu der maximalen Dicke d_{II} (unter Einbeziehung aller monolithisch mit der Anodenscheibe 5 verbundenen Bauteile, d.h. vorliegend des Verbindungsstutzens 16 und des Verlängerungsstutzens 24) eingezeichnet. Bei der in Fig. 5 gezeigten nicht erfindungsgemäßen Ausführungsform weist die Anodenscheibe 5" - im Vergleich zu der ersten erfindungsgemäßen Ausführungsform - keinen Verbindungsstutzen auf. Vielmehr ist die Lagerbuchse 20 über eine Diffusionsverbindung direkt mit der planaren Fläche der Anodenscheibe 5" verbunden.

[0047] Bei den in Fig. 6 und 9 gezeigten Ausführungsformen gemäß der Erfindung und Fig. 7 und 8 (beide nicht erfindungsgemäß) ist die Lagerbuchse 20 auf der gleichen Seite wie die Brennbahn 6 angeordnet. Im Vergleich zu der ersten erfindungsgemäßen Ausführungsform ist bei der vierten, in Fig. 6 gezeigten Ausführungsform der Verbindungsstutzen 16' an der Anodenscheibe 5''' ebenfalls auf der Seite der Brennbahn 6 angeordnet. Bei der nicht erfindungsgemäßen in Fig. 7 gezeigten Ausführungsform weist die Anodenscheibe 5" - ähnlich wie bei der nicht erfindungsgemäßen Ausführungsform (s. Fig. 5) - keinen Verbindungsstutzen auf. Vielmehr ist die Lagerbuchse 20 über eine Diffusionsverbindung direkt mit der planaren Fläche der Anodenscheibe 5" verbunden. Die in Fig. 8 gezeigte nicht erfindungsgemäße Ausführungsform unterscheidet sich von der Ausführungsform in Fig. 7 dadurch, dass die Dicke der Anodenscheibe 5''''radial nach innen kontinuierlich zunimmt.

[0048] In Fig. 9 ist ein Röntgendrehanodensystem 27 dargestellt, bei welchem die Röntgendrehanode 2 mit Anodenscheibe 5''', Verbindungsstutzen 16' und Lagerbuchse 20 entsprechend wie bei der vierten Ausführungsform (vgl. Fig. 6) ausgebildet ist. Ferner dargestellt ist ein innenseitig eingesetzter Zapfen 28, auf dem die Flüssigmetalllager-Innenschale ausgebildet ist. Zwischen der Flüssigmetalllager-Innenschale des Zapfens 28 und der Flüssigmetalllager-Außenschale ist ein Lagerspalt 30 ausgebildet, der im Einsatz mit (nicht dargestelltem) Flüssigmetall gefüllt ist. Oberhalb der Röntgendrehanode sind zwei beispielhafte Varianten für die Ausbildung des Zapfens 28 dargestellt. Gemäß der ersten Variante A (oben in Fig. 9 links einmal in Draufsicht und

rechts davon sowie innerhalb der Röntgendrehanode 2 einmal im Querschnitt dargestellt), weist der Zapfen 28 eine rohrförmige Grundform und außenseitig eine glatte Oberfläche auf. Gemäß der zweiten Variante B (oben in Fig. 9 als dritte Figur von links einmal in Draufsicht und rechts davon einmal im Querschnitt dargestellt), weist der Zapfen 28' zwei oberflächlich strukturierte und in axialer Richtung voneinander beabstandete Laufabschnitte 32, 34 auf. Der Zapfen 28' weist ferner einen innenseitig verlaufenden Kühlmittelkanal 36 auf, der ein in ein Sackloch 38 eingesetztes Kühlmittelrohr 40 aufweist, wobei der Durchmesser des Kühlmittelrohrs 40 entsprechend kleiner als derjenige des Sacklochs 38 gewählt ist, so dass Kühlmittel z.B. über das Kühlmittelrohr 40 einströmen und außenseitig über den zwischen dem Kühlmittelrohr 40 und dem Sackloch 38 gebildeten, ringförmigen Kanal zurückströmen kann.

Herstellungsbeispiele:

[0049]

1. Beispiel: Nachfolgend wird ein Herstellungsverfahren einer erfindungsgemäßen Röntgendrehanode, bei welcher die Anodenscheibe und die Lagerbuchse aus MHC ausgebildet sind und über Reibschweißen miteinander verbunden werden, beschrieben. Zunächst werden die Anodenscheibe und ein Stumpf mit zylindrischer Grundform pulvermetallurgisch hergestellt, was die Schritte des Bereitstellens entsprechender Ausgangspulver (für MHC), des Pressens und des Sinterns, sowie vorliegend noch ein nachfolgendes Umformen (Schmieden der Anodenscheibe; Radialschmieden des Stumpfes), umfasst. Der Stumpf wird mechanisch bearbeitet, so dass er eine rohrförmige Grundform aufweist, um die spätere Lagerbuchse zu bilden. Ferner wird im Rahmen des Umformens (Schmieden) an die Anodenscheibe zentral an einer Seite ein vorstehender rohrförmiger Verbindungsstutzen (mit einer axialen Länge von 40 mm) angeschmiedet, d.h. der Verbindungsstutzen wird monolithisch aus dem Material der Anodenscheibe ausgeformt. Sowohl die Stirnfläche des rohrförmigen Stumpfes als auch die Stirnfläche des Verbindungsstutzens weisen eine zu verschweißende Fläche von 2.000 mm² und einen Innen-Durchmesser von 44 mm auf (der Außen-Durchmesser ist hierdurch bestimmt). Vorliegend wird eine Reibschweißmaschine mit direktem Antrieb der Spindel eingesetzt. Der rohrförmige Stumpf wird in die (nicht rotierende) Halterung der Reibschweißmaschine und die Anodenscheibe wird in die (rotierende) Spindelhalterung eingespannt. Anschließend wird die Anodenscheibe in Rotation versetzt (2.000 Umdrehungen pro Minute) und mit einem Reibdruck von 30 bar gegen den Stumpf gedrückt. Anschließend wird der Antrieb der Anodenscheibe gestoppt und der

Stauchdruck auf 65 bar erhöht. Die Gesamtreibzeit, d.h. innerhalb der eine Relativ-Rotationsbewegung zwischen Anodenscheibe und Stumpf stattfindet, beträgt 3 Sekunden. Es folgt dann noch eine mechanische Bearbeitung zur Herstellung der Endgeometrie, wobei der rohrförmige Stumpf dann die Lagerbuchse bildet. Weitere Anbauteile, Beschichtungen, Beläge, etc. können - wie eingangs erläutert - noch ergänzt werden. In Abhängigkeit von der Geometrie der Bauteile und der Bearbeitungsschritte kann ein Spannungsarmglühen (z.B. bei Temperaturen im Bereich von 1.100°C - 1.300°C) einmalig oder mehrmalig während des Herstellungsverfahrens eingeschoben werden,

2. Beispiel: Nachfolgend wird ein Herstellungsverfahren einer erfindungsgemäßen Röntgendrehanode, bei welcher die Anodenscheibe und die Lagerbuchse aus TZM ausgebildet sind und über Reibschweißen miteinander verbunden werden, beschrieben. Es werden die gleichen Schritte und Parameter wie bei dem 1. Beispiel mit Ausnahme der nachfolgenden Abweichungen angewendet: Es werden Ausgangspulver zur Herstellung der Anodenscheibe und des Stumpfes aus TZM (und nicht aus MHC) bereitgestellt. Der eingesetzte Reibdruck beträgt nur 25 bar und der Stauchdruck wird nach Beendigung des Antriebs der Anodenscheibe auf nur 60 bar erhöht.

3. Beispiel (Vergleichsbeispiel): Nachfolgend wird ein Herstellungsverfahren einer nicht erfindungsgemäßen Röntgendrehanode, bei welcher die Anodenscheibe und die Lagerbuchse aus TZM ausgebildet sind und über Diffusionsbonden miteinander verbunden werden, beschrieben. Zunächst wird in gleicher Weise wie bei dem zweiten Ausführungsbeispiel die Anodenscheibe und ein rohrförmiger Stumpf aus TZM hergestellt. Sowohl die (zu verbindende) Stirnfläche des rohrförmigen Stumpfes als auch die (zu verbindende) Stirnfläche des Verbindungsstutzens werden mechanisch bearbeitet und anschließend geschliffen und/oder poliert, um eine glatte planare Oberfläche bereitzustellen. Anschließend wird das Diffusionsbonden der beiden Bauteile mit aneinander anliegenden Stirnflächen bei einer Temperatur von 1.700°C, einem Druck von 10 MPa und einer Dauer von mindestens 5 Minuten (vorzugsweise im Bereich von 6-15 Minuten) durchgeführt.

[0050] Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die in den Figuren gezeigten erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiele beschränkt. Insbesondere muss die Flüssigmetalllager-Laufläche der Flüssigmetalllager-Außenschale nicht zwingend einen geradlinigen Verlauf in Form einer Zylinder-Mantelfläche aufweisen, sondern sie kann auch, wie eingangs erläutert, einen stufenförmigen Verlauf, eine umlaufende Rippe, etc., aufweisen, wobei dann typischerweise die Flüssigmetalllager-Innenschale ei-

nen entsprechend angepassten Verlauf aufweist.

Patentansprüche

1. Röntgendrehanode mit integrierter Flüssigmetalllager-Außenschale, aufweisend

eine Anodenscheibe (5; 5'; 5'') aus Mo oder einer Mo-basierten Legierung mit einem im Bereich der Drehachse (4) zentral ausgebildeten und sich in axialer Richtung zumindest durch einen Teil der Anodenscheibe (5; 5'; 5'') hindurch erstreckenden Loch (12) und eine Lagerbuchse (20) aus Mo oder einer Mo-basierten Legierung,

wobei die Innenwand (22) der Lagerbuchse (20) zumindest über einen axialen Abschnitt derselben umlaufend als Flüssigmetalllager-Laufläche ausgebildet ist und einen ersten Teilabschnitt der Flüssigmetalllager-Außenschale bildet,

und wobei die Flüssigmetalllager-Außenschale durch den ersten und einen daran angrenzenden zweiten Teilabschnitt gebildet wird und eine durchgehende Flüssigmetalllager-Laufläche aufweist,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Anodenscheibe (5; 5'; 5'') zu der Seite der Lagerbuchse (20) hin einen Verbindungsstutzen (16; 16') aufweist, der mit seiner Innenwand (18) das Loch (12) der Anodenscheibe (5; 5'; 5'') verlängert und der gegenüber der außenseitig umliegenden Fläche der Anodenscheibe (5; 5'; 5'') vorsteht, dass zumindest ein axialer Abschnitt der Innenwand (18) des Verbindungsstutzens (16; 16') sowie zumindest ein axialer Abschnitt einer Innenwand (14) des Lochs (12) der Anodenscheibe (5; 5'; 5'') umlaufend als Flüssigmetalllager-Laufläche ausgebildet sind und einen Teil des zweiten Teilabschnittes der Flüssigmetalllager-Außenschale bilden und dass eine stoffschlüssige Verbindung (21) zwischen dem vorstehenden Verbindungsstutzen (16; 16') der Anodenscheibe (5; 5'; 5'') und der Lagerbuchse (20) ausgebildet ist, wobei die stoffschlüssige Verbindung (21) eine Reibschweißverbindung oder eine Strahlschweißverbindung ist.

2. Röntgendrehanode gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mo-basierte(n) Legierung(en) MHC und/oder TZM ist/sind,

wobei MHC die nachfolgende Zusammensetzung aufweist:

- einen Hf-Gehalt von 1,00 - 1,30 Gew.%,

- einen C-Gehalt von 500-1.200 µg/g,
- Rest Mo,

wobei der Gehalt an gegebenenfalls vorhandenen metallischen Verunreinigungen $\leq 5000 \mu\text{g/g}$ ist und der Gehalt an gegebenenfalls vorhandenen Verunreinigungen durch H, N und O in Summe $\leq 1000 \mu\text{g/g}$ ist;
und wobei TZM die nachfolgende Zusammensetzung aufweist:

- einen Ti-Gehalt von 0,40-0,55 Gew.%,
- einen Zr-Gehalt von 0,06-0,12 Gew.%,
- einen C-Gehalt von 50-500 µg/g,
- Rest Mo,

wobei der Gehalt an gegebenenfalls vorhandenen metallischen Verunreinigungen $\leq 5000 \mu\text{g/g}$ ist und der Gehalt an gegebenenfalls vorhandenen Verunreinigungen durch H, C, N und O in Summe $\leq 1500 \mu\text{g/g}$ ist.

3. Röntgendrehanode gemäß einem der vorangehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass die Anodenscheibe (5; 5'; 5'') und die Lagerbuchse (20) beide aus Molybdän oder beide aus derselben Molybdän-basierten Legierung gebildet sind.

4. Röntgendrehanode gemäß einem der vorangehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass die stoffschlüssige Verbindung (21) eine Reibschweißverbindung ist.

5. Röntgendrehanode gemäß einem der vorangehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass das Loch (12) der Anodenscheibe (5) als Durchgangs-Loch ausgebildet ist, dass die Anodenscheibe (5) gegenüberliegend von der Seite der Lagerbuchse (20) einen Verlängerungsstutzen (24) aufweist, der mit seiner Innenwand (26) das Durchgangs-Loch (12) der Anodenscheibe (5) verlängert und der gegenüber der außenseitig umliegenden Fläche der Anodenscheibe (5) vorsteht, dass zumindest ein axialer Abschnitt der Innenwand (26) des Verlängerungsstutzens (24) umlaufend als Flüssigmetalllager-Laufläche ausgebildet ist und einen Teil des zweiten Teilabschnittes der Flüssigmetalllager-Außenschale bildet.

6. Röntgendrehanode gemäß einem der vorangehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke der Anodenscheibe (5') in radialer Richtung zu der Drehachse (4) hin zunimmt, wobei die Dickenzunahme ausgehend von einer Referenzdicke (d_R) radial mittig gemessen im Bereich einer abgeschrägten Brennbahnfläche (10) bis hin zu der Dicke (d_{II}) im

Bereich des Loches (12) 30 -300% beträgt.

7. Röntgendrehanode gemäß einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass die Anodenscheibe (5; 5'; 5'') mehrere, umlaufend gleichmäßig angeordnete und durch die Dicke der Anodenscheibe (5; 5'; 5'') hindurchgehende Schlitze aufweist, die sich jeweils über einen radialen Abschnitt im Bereich zwischen einem Außenumfang der Anodenscheibe (5; 5'; 5'') und dem Loch (12) der Anodenscheibe (5; 5'; 5'') erstrecken. 5 10
8. Röntgendrehanodensystem aufweisend eine Röntgendrehanode mit integrierter Flüssigmetalllager-Außenschale gemäß einem der vorangehenden Ansprüche sowie eine in die Flüssigmetalllager-Außenschale eingesetzte Flüssigmetalllager-Innenschale, die eine Flüssigmetalllager-Laufläche aufweist, wobei die Flüssigmetalllager-Außenschale und die Flüssigmetalllager-Innenschale derart aufeinander abgestimmt sind, dass zwischen Ihnen ein definierter Lagerspalt (30) ausgebildet ist. 15 20
9. Röntgendrehanodensystem gemäß Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Bereich von zumindest einem axialen Endabschnitt der Flüssigmetalllager-Laufläche an der Flüssigmetalllager-Außenschale und/oder der Flüssigmetalllager-Laufläche an der Flüssigmetalllager-Innenschale mindestens ein umlaufendes mechanisches Begrenzungselement vorgesehen ist, welches im Einsatz ein Fließen von in dem Lagerspalt (30) befindlichen Flüssigmetall in axialer Richtung begrenzt. 25 30
10. Röntgendrehanodensystem gemäß Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Bereich von zumindest einem axialen Endabschnitt der Flüssigmetalllager-Laufläche an der Flüssigmetalllager-Außenschale und/oder der Flüssigmetalllager-Laufläche an der Flüssigmetalllager-Innenschale eine umlaufende Beschichtung vorgesehen ist, welche eine Benetzung durch das im Einsatz in dem Lagerspalt (30) befindliche Flüssigmetall unterdrückt. 35 40
11. Röntgendrehanodensystem gemäß einem der Ansprüche 8 bis 10,
dadurch gekennzeichnet, dass die Flüssigmetalllager-Innenschale auf einem Zapfen (28'), der durch die Lagerbuchse (20) hindurch bis zumindest in das Loch (12) der Anodenscheibe (5'') geführt ist, ausgebildet ist. 45 50
12. Röntgendrehanodensystem gemäß einem der Ansprüche 8 bis 11,
dadurch gekennzeichnet, dass die Flüssigmetalllager-Laufläche an der Flüssigmetalllager-Außenschale und/oder die Flüssigmetalllager-Laufläche 55

an der Flüssigmetalllager-Innenschale mindestens zwei umlaufende, oberflächlich strukturierte Laufabschnitte (32, 34) aufweist, die in axialer Richtung voneinander beabstandet sind.

13. Verfahren zum Herstellen einer Röntgendrehanode gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, **gekennzeichnet durch** nachfolgende Schritte:

- Bereitstellen einer Anodenscheibe (5; 5'; 5'') mit einem Verbindungsstutzen (16; 16') aus Mo oder einer Mo-basierten Legierung,
- Bereitstellen eines Stumpfes aus Mo oder einer Mo-basierten Legierung,
- Stoffschlüssiges Verbinden des Stumpfes mit dem Verbindungsstutzen (16; 16') der Anodenscheibe (5; 5'; 5'') derart, dass der Stumpf bezogen auf eine Drehachse (4) der Anodenscheibe (5; 5'; 5'') zentral angeordnet ist, und
- Mechanisches Bearbeiten der Anodenscheibe (5; 5'; 5'') mit Verbindungsstutzen (16; 16') und des Stumpfes zur Ausbildung der Röntgendrehanode (2) mit integrierter Flüssigmetalllager-Außenschale, wobei der Stumpf die Lagerbuchse (20) mit der Flüssigmetalllager-Laufläche bildet und die Anodenscheibe (5; 5'; 5'') das Loch (12) aufweist, bei dem zumindest ein axialer Abschnitt der Innenwand (14) umlaufend als Flüssigmetalllager-Laufläche ausgebildet ist.

Claims

1. A rotary x-ray anode with integrated liquid metal bearing outer shell, comprising 35

an anode disk (5; 5'; 5'') made of Mo or an Mo-based alloy and having a hole (12) formed in the center in the region of the axis of rotation (4) and extending in axial direction at least through a portion of the anode disk (5; 5'; 5'') and a bushing (20) made of Mo or of an Mo-based alloy,

wherein the inner wall (22) of the bushing (20) is formed circumferentially as a liquid metal bearing running surface at least over an axial section thereof and forms a first subsection of the liquid metal bearing outer shell, and wherein the liquid metal bearing outer shell is formed by the first and an adjoining second subsection and has a continuous liquid metal bearing running surface, **characterized in that**

the anode disk (5; 5'; 5''), toward the side of the bushing (20), has a connection port (16; 16'), the inner wall (18) of which extends the hole (12) in the anode disk (5; 5'; 5''), and which protrudes with respect to the peripheral face on the outside of the anode disk (5; 5'; 5''), **in that** at least an

axial section of the inner wall (18) of the connection port (16; 16') is formed circumferentially as a liquid metal bearing running surface and forms a portion of the second subsection of the liquid metal bearing outer shell, and **in that** a material bonding connection (21) is formed between the protruding connection port (16; 16') of the anode disk (5; 5'; 5'') and the bushing (20), wherein the material bonding connection (21) is a bond established via a friction welding bond or a beam welding bond.

2. The rotary x-ray anode as claimed in claim 1, **characterized in that** the Mo-based alloy(s) is/are MHC and/or TZM,

where MHC has the following composition:

- an Hf content of 1.00-1.30% by weight,
- a C content of 500-1200 $\mu\text{g/g}$,
- balance: Mo,

where the content of any metallic impurities present is $\leq 5000 \mu\text{g/g}$ and the total content of any H, N and O impurities present is $\leq 1000 \mu\text{g/g}$; and wherein TZM has the following composition:

- a Ti content of 0.40-0.55% by weight,
- a Zr content of 0.06-0.12% by weight,
- a C content of 50-500 $\mu\text{g/g}$,
- balance: Mo,

where the content of any metallic impurities present is $\leq 5000 \mu\text{g/g}$ and the total content of any H, C, N and O impurities present is $\leq 1500 \mu\text{g/g}$.

3. The rotary x-ray anode as claimed in any of the preceding claims, **characterized in that** the anode disk (5; 5'; 5'') and the bushing (20) are each formed from molybdenum or each formed from the same molybdenum-based alloy.
4. The rotary x-ray anode as claimed in any of the preceding claims, **characterized in that** the material bonding connection (21) is a friction welding bond.
5. The rotary x-ray anode as claimed in any of the preceding claims, **characterized in that** the hole (12) in the anode disk (5) is formed as a passage hole, **in that** the anode disk (5), on the opposite side from the bushing (20), has an extension port (24), the inner wall (26) of which extends the passage hole (12) of the anode disk (5), and which protrudes with respect to the peripheral face on the outside of the anode disk (5), **in that** at least an axial section of the inner wall (26) of the extension port (24) is formed circumferentially as a liquid metal bearing running

surface and forms a portion of the second subsection of the liquid metal bearing outer shell.

6. The rotary x-ray anode as claimed in any of the preceding claims, **characterized in that** the thickness of the anode disk (5') increases in radial direction toward the axis of rotation (4), wherein the increase in thickness proceeding from a reference thickness (d_R) measured radially in the middle in the region of a beveled focal track surface (10) up to the thickness (d_{II}) in the region of the hole (12) is 30-300%.
7. The rotary x-ray anode as claimed in any of the preceding claims, **characterized in that** the anode disk (5; 5'; 5'') has multiple slits that are arranged uniformly over the circumference and pass through the thickness of the anode disk (5; 5'; 5''), each of which extends over a radial section in the region between an outer circumference of the anode disk (5; 5'; 5'') and the hole (12) in the anode disk (5; 5'; 5'').
8. A rotary x-ray anode system comprising a rotary x-ray anode with integrated liquid metal bearing outer shell as claimed in any of the preceding claims and a liquid metal bearing inner shell that has been inserted into the liquid metal bearing outer shell and has a liquid metal bearing running surface, wherein the liquid metal bearing outer shell and the liquid metal bearing inner shell are matched to one another such that a defined bearing gap (30) is formed between them.
9. The rotary x-ray anode system as claimed in claim 8, **characterized in that**, in the region of at least one axial end section of the liquid metal bearing running surface at the liquid metal bearing outer shell and/or of the liquid metal bearing running surface at the liquid metal bearing inner shell, at least one circumferential mechanical boundary element is provided, which, in use, limits flow of liquid metal present in the bearing gap (30) in axial direction.
10. The rotary x-ray anode system as claimed in claim 8 or 9, **characterized in that**, in the region of at least one axial end section of the liquid metal bearing running surface at the liquid metal bearing outer shell and/or of the liquid metal bearing running surface at the liquid metal bearing inner shell, a circumferential coating is provided, which suppresses wetting by the liquid metal in the bearing gap (30) during use.
11. The rotary x-ray anode system as claimed in any of claims 8 to 10, **characterized in that** the liquid metal bearing inner shell is formed on a spigot (28') guided through the bushing (20) at least into the hole (12) in the anode disk (5'').

12. The rotary x-ray anode system as claimed in any of claims 8 to 11, **characterized in that** the liquid metal bearing running surface at the liquid metal bearing outer shell and/or the liquid metal bearing running surface at the liquid metal bearing inner shell has at least two circumferential, superficially structured running sections (32, 34) that are spaced apart in axial direction. 5
13. A method of producing a rotary x-ray anode as claimed in any of claims 1 to 7, **characterized by** the following steps: 10
- providing an anode disk (5; 5'; 5'') having a connection port (16; 16') made of Mo or an Mo-based alloy, 15
 - providing a stub of Mo or an Mo-based alloy,
 - materially bonding the stub to the anode disk (5; 5'; 5'') having a connection port (16; 16') in such a way that the stub is in a central arrangement based on an axis of rotation (4) of the anode disk (5; 5'; 5''), and 20
 - mechanically working the anode disk (5; 5'; 5'') having a connection port (16; 16') and the stub to form the rotary x-ray anode (2) with integrated liquid metal bearing outer shell, wherein the stub forms the bushing (20) with the liquid metal bearing running surface and the anode disk (5; 5'; 5'') has the hole (12), in which at least an axial section of the inner wall (14) is formed circumferentially as liquid metal bearing running surface. 25 30

Revendications 35

1. Anode tournante à rayons X avec coque extérieure de palier métallique liquide intégrée, présentant

un disque d'anode (5 ; 5' ; 5'') en Mo ou en un alliage à base de Mo avec un trou (12) réalisé de manière centrale dans la zone de l'axe de rotation (4) et s'étendant dans la direction axiale au moins à travers une partie du disque d'anode (5 ; 5' ; 5'') et 40

un coussinet de palier (20) en Mo ou en alliage à base de Mo, la paroi intérieure (22) du coussinet de palier (20) étant réalisée, au moins sur une section axiale de celui-ci, sur la périphérie en tant que surface de roulement de palier métallique liquide et formant une première section partielle de la coque extérieure de palier métallique liquide, 45

et la coque extérieure de palier métallique liquide étant formée par la première section partielle et par une deuxième section partielle adjacente à celle-ci et présentant une surface de roulement de palier métallique liquide continue, 50 55

caractérisée en ce que

le disque d'anode (5 ; 5' ; 5'') présente, du côté du coussinet de palier (20), une tubulure de liaison (16 ; 16') qui prolonge par sa paroi intérieure (18) le trou (12) du disque d'anode (5 ; 5' ; 5'') et qui fait saillie par rapport à la surface du disque d'anode (5 ; 5' ; 5'') située à l'extérieur, **en ce qu'**au moins une section axiale de la paroi intérieure (18) de la tubulure de liaison (16 ; 16') ainsi qu'au moins une section axiale d'une paroi intérieure (14) du trou (12) du disque d'anode (5 ; 5' ; 5'') sont réalisées sur la périphérie en tant que surface de roulement de palier métallique liquide et forment une partie de la deuxième section partielle de la coque extérieure de palier métallique liquide et **en ce qu'**une liaison par matière (21) est réalisée entre la tubulure de liaison (16 ; 16') en saillie du disque d'anode (5 ; 5' ; 5'') et le coussinet de palier (20), la liaison par matière (21) étant une liaison par soudage par friction ou une liaison par soudage par rayonnement.

2. Anode tournante à rayons X selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** le ou les alliages à base de Mo sont du MHC et/ou du TZM, le MHC présentant la composition suivante :

- une teneur en Hf de 1,00 à 1,30 % en poids,
- une teneur en C de 500 à 1 200 µg/g,
- le reste étant du Mo,

la teneur en impuretés métalliques éventuellement présentes étant ≤ 5 000 µg/g et la teneur en impuretés par H, N et O éventuellement présentes étant au total ≤ 1 000 µg/g ; et le TZM présentant la composition suivante :

- une teneur en Ti de 0,40-0,55 % en poids,
- une teneur en Zr de 0,06-0,12 % en poids,
- une teneur en C de 50-500 µg/g,
- le reste étant du Mo,

la teneur en impuretés métalliques éventuellement présentes étant ≤ 5 000 µg/g et la teneur en impuretés par H, N et O éventuellement présentes étant au total ≤ 1 500 µg/g.

3. Anode tournante à rayons X selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** le disque d'anode (5 ; 5' ; 5'') et le coussinet de palier (20) sont tous deux formés de molybdène ou tous deux du même alliage à base de molybdène. 50
4. Anode tournante à rayons X selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** la liaison par matière (21) est une liaison de soudage par friction. 55

5. Anode tournante à rayons X selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** le trou (12) du disque d'anode (5) est réalisé sous forme de trou traversant, **en ce que** le disque d'anode (5) présente en face du côté du coussinet de palier (20) une tubulure de prolongement (24), qui prolonge par sa paroi intérieure (26) le trou de passage (12) du disque d'anode (5) et qui fait saillie par rapport à la surface du disque d'anode (5) située à l'extérieur, **en ce qu'**au moins une section axiale de la paroi intérieure (26) de la tubulure de prolongement (24) est réalisée sur la périphérie en tant que surface de roulement de palier métallique liquide et forme une partie de la deuxième section partielle de la coque extérieure de palier métallique liquide.
6. Anode tournante à rayons X selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** l'épaisseur du disque d'anode (5') augmente dans la direction radiale vers l'axe de rotation (4), l'augmentation de l'épaisseur étant de 30 à 300 % à partir d'une épaisseur de référence (d_R) mesurée radialement au centre dans la zone d'une surface de couronne focale inclinée (10) jusqu'à l'épaisseur (d_{II}) dans la zone du trou (12).
7. Anode tournante à rayons X selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** le disque d'anode (5 ; 5' ; 5'') présente plusieurs fentes agencées régulièrement sur la périphérie et à travers l'épaisseur du disque d'anode (5 ; 5' ; 5''), qui s'étendent chacune sur une section radiale dans la zone entre une périphérie extérieure du disque d'anode (5 ; 5' ; 5'') et le trou (12) du disque d'anode (5 ; 5' ; 5'').
8. Système d'anode tournante à rayons X présentant une anode tournante à rayons X avec une coque extérieure de palier métallique liquide intégrée selon l'une quelconque des revendications précédentes ainsi qu'une coque intérieure de palier métallique liquide insérée dans la coque extérieure de palier métallique liquide, qui présente une surface de roulement de palier métallique liquide, la coque extérieure de palier métallique liquide et la coque intérieure de palier métallique liquide étant adaptées l'une à l'autre de telle sorte qu'un interstice de palier défini (30) est réalisé entre elles.
9. Système d'anode tournante à rayons X selon la revendication 8, **caractérisé en ce que**, dans la zone d'au moins une section d'extrémité axiale de la surface de roulement de palier métallique liquide sur la coque extérieure de palier métallique liquide et/ou de la surface de roulement de palier métallique liquide sur la coque intérieure de palier métallique liquide, il est prévu au moins un élément de limitation mécanique périphérique qui, pendant l'utilisation,
- limite un écoulement de métal liquide se trouvant dans l'interstice de palier (30) dans la direction axiale.
10. Système d'anode tournante à rayons X selon la revendication 8 ou 9, **caractérisé en ce que**, dans la zone d'au moins une section d'extrémité axiale de la surface de roulement de palier métallique liquide sur la coque extérieure de palier métallique liquide et/ou de la surface de roulement de palier métallique liquide sur la coque intérieure de palier métallique liquide, il est prévu un revêtement périphérique qui, pendant l'utilisation, empêche un mouillage par le métal liquide se trouvant dans l'interstice de palier (30).
11. Système d'anode tournante à rayons X selon l'une quelconque des revendications 8 à 10, **caractérisé en ce que** la coque intérieure de palier métallique liquide est réalisée sur un tourillon (28') qui traverse le coussinet de palier (20) jusqu'à au moins le trou (12) du disque d'anode (5'').
12. Système d'anode tournante à rayons X selon l'une quelconque des revendications 8 à 11, **caractérisé en ce que** la surface de roulement de palier métallique liquide sur la coque extérieure de palier métallique liquide et/ou la surface de roulement de palier métallique liquide sur la coque intérieure de palier métallique liquide présente au moins deux sections de roulement (32, 34) périphériques, structurées en surface, qui sont espacées l'une de l'autre dans la direction axiale.
13. Procédé de fabrication d'une anode tournante à rayons X selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé par** les étapes suivantes :
- la fourniture d'un disque d'anode (5 ; 5' ; 5'') avec une tubulure de liaison (16 ; 16') en Mo ou en un alliage à base de Mo,
 - la fourniture d'un moignon en Mo ou en un alliage à base de Mo,
 - la liaison par matière du moignon avec la tubulure de liaison (16 ; 16') du disque d'anode (5 ; 5' ; 5'') de telle sorte que le moignon soit agencé au centre par rapport à un axe de rotation (4) du disque d'anode (5 ; 5' ; 5''), et
 - l'usinage mécanique du disque d'anode (5 ; 5' ; 5'') avec la tubulure de liaison (16 ; 16') et du moignon pour réaliser l'anode tournante à rayons X (2) avec une coque extérieure de palier métallique liquide intégrée, le moignon formant le coussinet de palier (20) avec la surface de roulement de palier métallique liquide et le disque d'anode (5 ; 5' ; 5'') présentant le trou (12), au moins une section axiale de la paroi intérieure (14) étant réalisée sur la périphérie en

tant que surface de roulement de palier métallique liquide.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

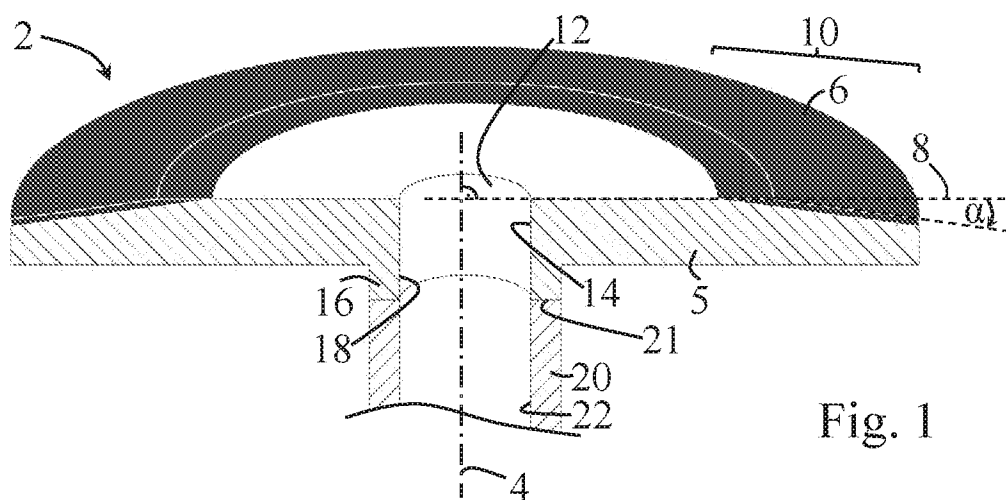


Fig. 1

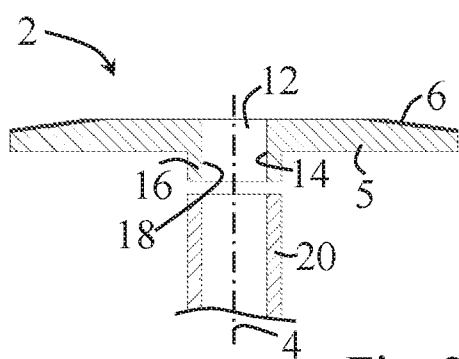


Fig. 2A

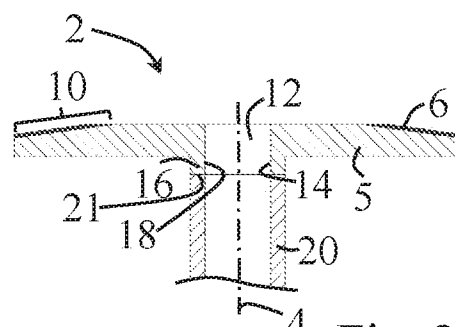


Fig. 2B

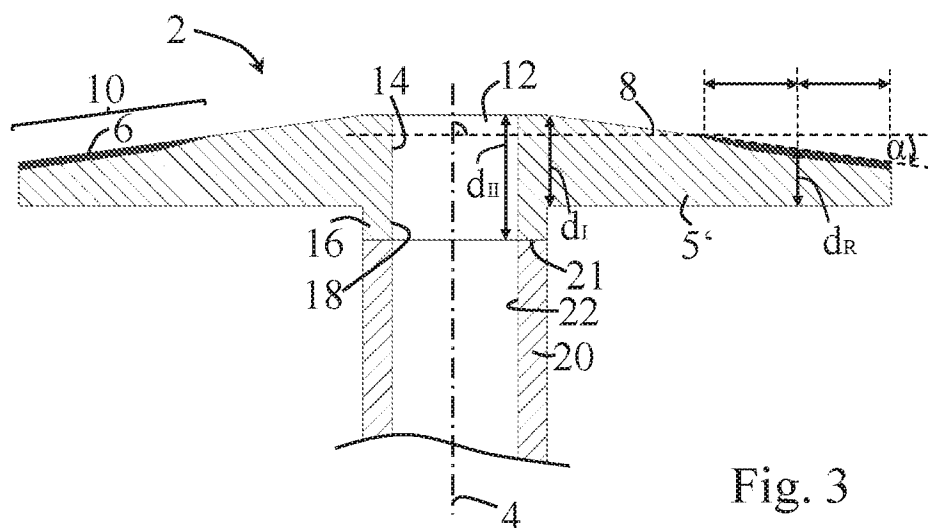
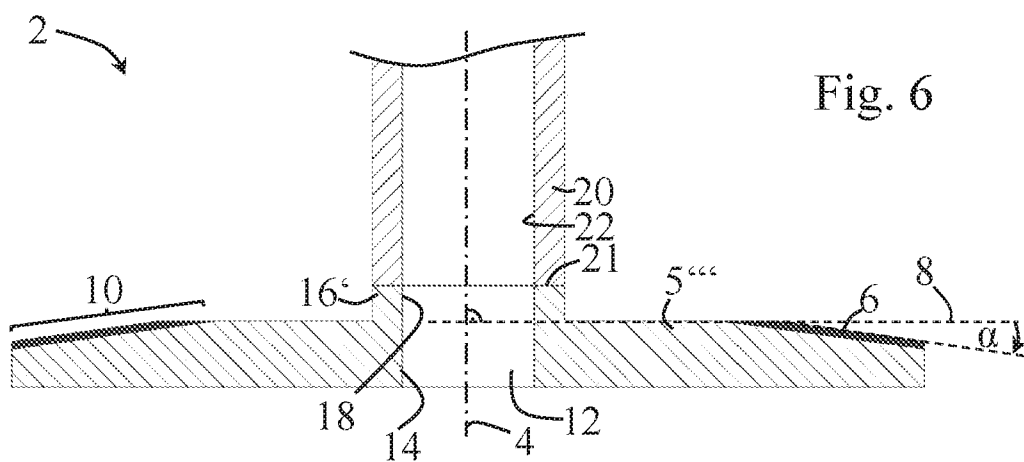
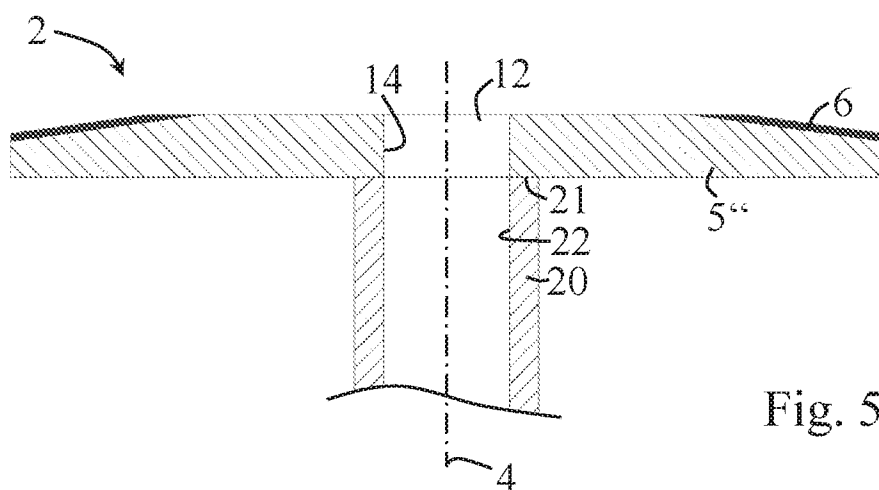
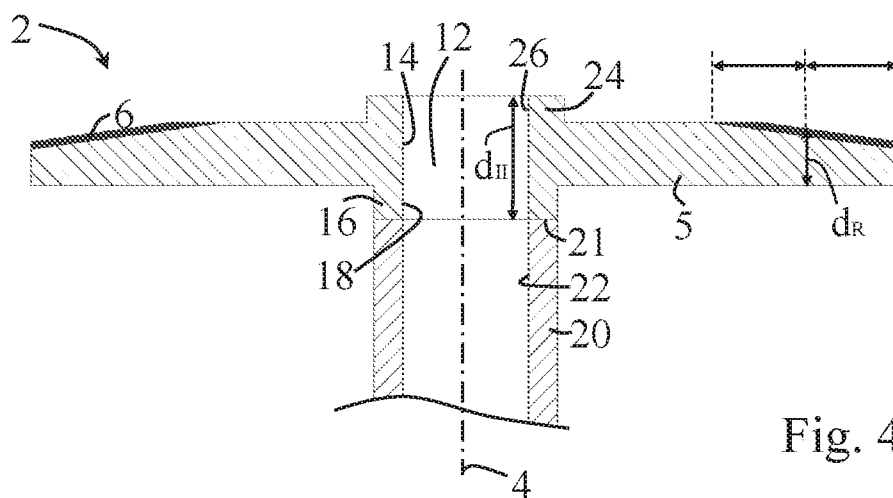
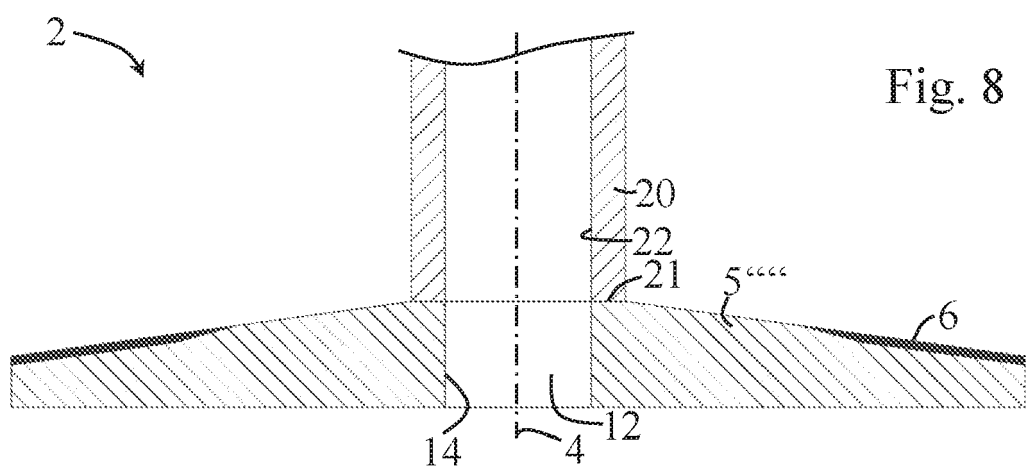
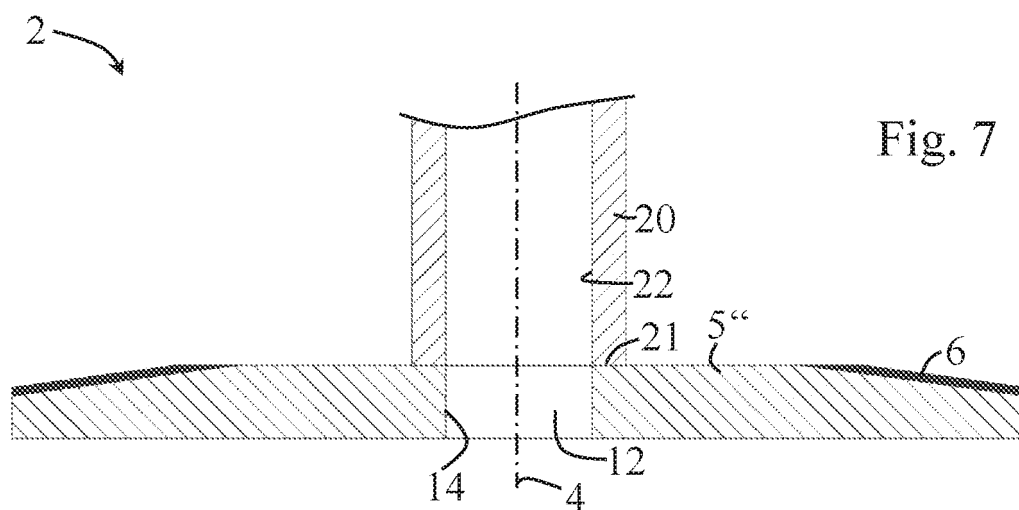
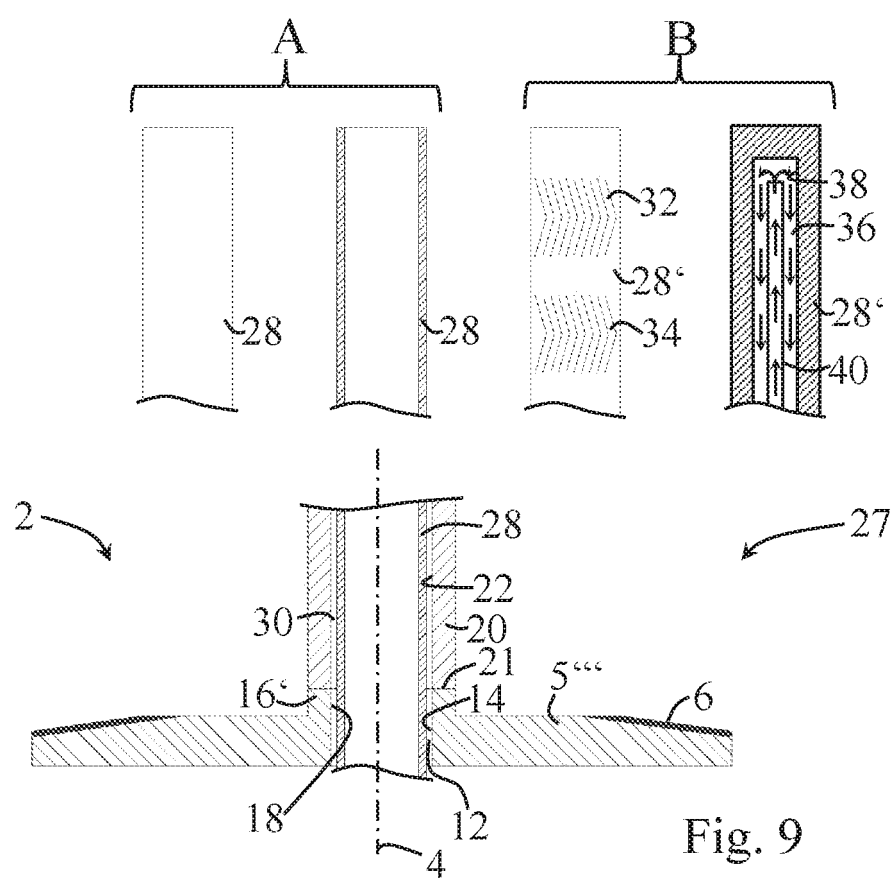


Fig. 3







IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 20160086760 A1 [0004] [0042]
- US 20170125199 A1 [0004]
- US 5204890 A [0004] [0042]
- US 6198805 B1 [0004]
- US 2011058654 A1 [0005]
- US 20170084420 A1 [0006]
- DE 102015215306 A1 [0010]
- JP 2012084400 A [0033] [0042]
- DE 102015204488 A1 [0033] [0042]
- US 20170169984 A1 [0042]