



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 20 700 A1** 2004.12.02

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **103 20 700.7**
(22) Anmeldetag: **08.05.2003**
(43) Offenlegungstag: **02.12.2004**

(51) Int Cl.7: **H01J 35/16**

(71) Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

(72) Erfinder:
Lenz, Eberhard, Dr., 91056 Erlangen, DE

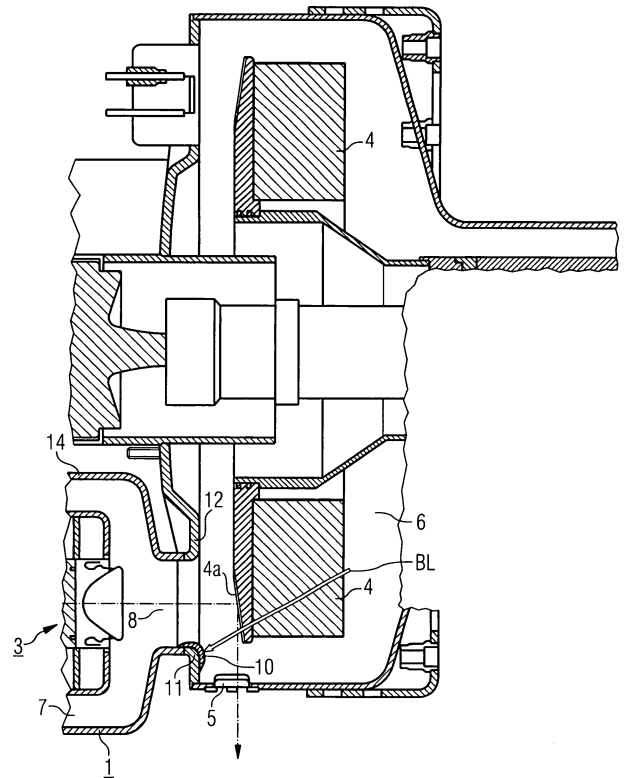
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
DE 199 14 825 A1
DE 196 12 220 A1
DE 100 23 856 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Vakuumgehäuse für eine Röntgenröhre**

(57) Zusammenfassung: Beschrieben wird ein Vakuumgehäuse (1) für eine Röntgenröhre, dessen Wandung (9) wenigstens in dem im Betrieb der Röntgenröhre dem Brennfleck (BF) der Röntgenröhre benachbarten Bereich mit einer Schutzschicht (10) versehen ist. Um die Lebensdauer zu steigern, besteht die Schutzschicht (10) aus einem Material, welches aus einer Materialgruppe auswählbar ist, die aus Niob, Titan, Zirkon, Hafnium, Vanadium, Tantal, Chrom, Molybdän oder Wolfram und/oder deren Legierungen und/oder aus metallischen oder nichtmetallischen Hartstoffen und/oder keramischen Hochtemperaturwerkstoffen und/oder Gasturbinenschutzschichten besteht. Außerdem wird ein Verfahren beschrieben, bei dem die Schutzschicht (10) durch Plasmaspritzen auf die Wandung (9) aufgebracht wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Vakuumgehäuse für eine Röntgenröhre, deren Wandung wenigstens in einem im Betrieb der Röntgenröhre einem Brennfleck der Röntgenröhre benachbarten Bereich mit einer Schutzschicht versehen ist, sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung.

[0002] Insbesondere bei platzsparend aufgebauten Drehanoden-Röntgenröhren kann es in der Nähe des Brennflecks zu thermoschockartigen Belastungen des Vakuumgehäuses kommen. Diese Belastungen resultieren aus einer Sekundärelektronenwolke, die sich mit Beginn des Röhrenstromes zentrisch vom Brennfleck ausbreitet. Die Energiedichte einer solchen Sekundärelektronenwolke kann beim Auftreffen auf die Innenseite der Vakuumhülle so hoch sein, dass zwischen der gekühlten Außenseite der Vakuumgehäusewandung und der Innenseite eine Temperaturdifferenz auftritt, die zu Zugspannungen beim Abkühlen und damit bei zu hohen Spannungen zu Thermoschockrisen führt. Versuche, um durch Herabsetzen der Wanddicke des Vakuumgehäuses in dem kritischen Bereich und damit durch eine Verringerung der Thermoschockbelastung im Material Abhilfe zu schaffen, führten nicht zu den gewünschten Ergebnissen. Da auf den Deckel des evakuierten Gehäuses eine hohe lokale Betriebstemperatur und ein hoher Atmosphärendruck wirken, ist das Material bei einer stärkeren Wanddickenreduzierung nicht mehr stabil und fängt an zu kriechen.

Stand der Technik

[0003] Um die Thermoschockbeständigkeit zu erhöhen und damit die Lebensdauer des Vakuumgehäuses zu steigern, wird in der DE 196 12 220 A1 vorgeschlagen, den Wandungsbereich, der im Betrieb der Röntgenröhre dem Brennfleck der Röntgenröhre benachbart ist, aus einem zumindest zweischichtigen Verbundwerkstoff auszubilden. Dessen innere Schicht soll einen geringeren thermischen Ausdehnungskoeffizienten und/oder einen geringeren Elastizitätsmodul als das Material der äußeren Schicht aufweisen. Für die äußere Schicht eignen sich demgemäß ferritische Eisenlegierungen oder austenitische Edelstähle. Als Material für die innere Schicht werden Kupfer, Nickel oder wenigstens Kupfer oder Nickel enthaltende Legierungen, insbesondere Nickel-Basislegierungen, sogenannte Ausgleichslegierungen mit kleinem thermischen Ausdehnungskoeffizienten, die Eisen, Nickel und Kobalt enthalten, sowie Eisen und Nickel und auch Eisen und Palladium enthaltende Legierungen vorgeschlagen. Die Wandung des Vakuumgehäuses kann dabei die äußere Schicht des Verbundwerkstoffs sein, die mit der inneren Schicht als Schutzschicht versehen ist.

[0004] Mit steigender Höhe des Belastungsniveaus

und der Belastungsmenge durch den Röntgenstrahl wächst aber auch bei dieser Art der Beschichtung die Gefahr von Thermoermüdungsrisen, was mit einer sinkenden Lebensdauer des Vakuumgehäuses bzw. der Röntgenröhre einhergeht.

Aufgabenstellung

[0005] Ausgehend hiervon liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Vakuumgehäuse der gattungsgemäßen Art bereitzustellen, das eine lange Lebensdauer trotz steigender Höhe des Belastungsniveaus und der Belastungsmenge durch die Sekundärelektronen aufweist, sowie ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Vakuumgehäuses anzugeben.

[0006] Nach der Erfindung wird diese Aufgabe durch ein Vakuumgehäuse für eine Röntgenröhre gelöst, deren Schutzschicht aus der folgenden Materialgruppe auswählbar ist:

- Niob, Titan, Zirkon, Hafnium, Vanadium, Tantal, Chrom, Molybdän oder Wolfram und/oder deren Legierungen und/oder
- aus metallischen oder nichtmetallischen Hartstoffen und/oder
- keramischen Hochtemperaturwerkstoffen und/oder
- Gasturbinenschutzschichten.

[0007] Durch Aufbringen einer Schutzschicht aus einem derartigen Material wird eine Funktionstrennung in einen ersten, inneren Materialbereich erreicht, der sich „opfert“ und ermüdet und Thermoschockrisse bilden kann und in einen zweiten, äußeren Materialbereich bzw. dem Grundmaterial, der nicht so hoch beansprucht wird und daher weiterhin vakuumdicht bleibt. Die Schutzschicht soll im Vergleich zum Grundmaterial den größten Teil der Thermoschockermüdung kompensieren und in dieser Funktion selbst aber relativ thermoschockbeständig sein. Die beanspruchten Materialien gewährleisten diese Funktion und erhöhen damit die Lebensdauer des Vakuumgehäuses.

[0008] Es ist festgestellt worden, dass insbesondere der Partialdruck des Beschichtungsmaterials eine wesentliche Rolle spielt, weil die Temperaturen in der Belastungszone hoch sind. Das Schutzschichtmaterial sollte daher vorzugsweise einen kleineren Partialdruck als das Grundmaterial, das insbesondere ein austenitischer Edelstahl ist, und damit eine bessere Temperaturbeständigkeit aufweisen.

[0009] Insbesondere ist festgestellt worden, dass die Schutzschichtmaterialien vorteilhafterweise folgende Eigenschaftskombination für eine hohe Lebensdauer unter den gegebenen Belastungen in einem Vakuumgehäuse aufweisen sollten: geringerer thermischer Ausdehnungskoeffizient, geringerer

E-Modul sowie geringerer Partialdruck als das Wandungs- bzw. Grundmaterial.

[0010] Aufgrund des kleinen thermischen Ausdehnungskoeffizienten treten geringere mechanische Thermospannungen auf. Austenitischer Edelstahl hat beispielsweise einen hohen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von $16 \cdot 10^{-6}/K$. Die thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Niob, Molybdän, Tantal und Wolfram liegen im Bereich von 4 bis $6,5 \cdot 10^{-6}/K$. Aufgrund des kleineren Ausdehnungskoeffizienten ist die Volumenvergrößerung der Schutzschicht an der Oberfläche bei Temperatureinfluss kleiner, und damit sinkt die Gefahr des Trennens von Gleitebenen und des Entstehens von Rissen.

[0011] Vorzugsweise sollten die Materialien auch ein duktileres Verformungsverhalten aufweisen. Hierdurch sinkt die Wahrscheinlichkeit, dass bei Ermüdungsrissen Partikel gebildet werden, die aus der Materialoberfläche brechen könnten, was sich ungünstig auf die Spannungsfestigkeit der Röhre auswirken würde. Bei diesen Partikeln handelt es sich um Gefügebestandteile, die bei Rissausbildung herausgelöst werden, wobei durch das Herauslösen der Partikel die Kerbwirkung weiterhin ansteigen kann.

[0012] Als besonders bevorzugtes Beispiel für diese Eigenschaftskombination kommen insbesondere Niob und/oder seine Legierungen in Frage. Niob besitzt die günstigste Kombination aus niedrigem Partialdruck bei erhöhter Betriebstemperatur, kleinem thermischen Ausdehnungskoeffizienten, kleinem E-Modul und damit hoher Duktilität und niedriger Streckgrenze. Im Gegensatz zu den bekannten Materialien Nickel und Cobalt weist Niob einen geringeren Partialdruck und einen niedrigeren E-Modul auf, was sich günstig auf die Temperaturbeständigkeit und die Duktilitätseigenschaften ausweist.

[0013] Neben Niob kommen weitere Übergangsmetalle aus der 4., 5. und 6. Nebengruppe des Langperiodensystems der chemischen Elemente und/oder deren Legierungen als Beschichtungsmaterialien in Frage, insbesondere Titan, Zirkon, Hafnium, Vanadium, Tantal, Chrom, Molybdän oder Wolfram.

[0014] Tantal und Titan verhalten sich relativ ähnlich wie Niob und gehören ebenfalls zu den bevorzugten Materialien für eine Schutzschicht. Niob weist gegenüber Tantal aber den Vorteil auf, dass es im Vergleich weniger stark versprödet, was die Gefahr der Partikelbildung erniedrigt, wenn sich Thermoanrisse bilden. Gegenüber Titan weist Niob einen niedrigeren Partialdruck auf und damit eine höhere Temperaturbeständigkeit. Ähnlich wie Titan verhält sich auch Vanadium.

[0015] Molybdän und Wolfram weisen einen niedrigen Partialdruck, eine geringe thermische Ausdeh-

nung und eine hervorragende Wärmeleitung auf. Die Gefahr der Versprödung ist aber im Vergleich zu Niob höher. Dies gilt auch für Wolfram-Basislegierungen, die im Verhältnis zu reinem Wolfram aber einen höheren Partialdruck und damit eine bessere Temperaturbeständigkeit aufweisen.

[0016] Des Weiteren wird vorgeschlagen, dass die Schutzschicht aus metallischen oder nichtmetallischen Hartstoffen besteht. Metallische Hartstoffe sind die sehr harten und hochschmelzenden Carbide, Nitride, Boride und Silicide der Übergangsmetalle aus der 4., 5. und 6. Nebengruppe des Langperiodensystems der chemischen Elemente, wie beispielsweise TiB und WC. Insbesondere besteht die Schutzschicht aus metallischen Hartstoffen der Elemente Niob, Titan, Zirkon, Hafnium, Vanadium, Tantal, Chrom, Molybdän oder Wolfram oder aus den nichtmetallischen Hartstoffen SiC und Si_3N_4 .

[0017] SiC und Si_3N_4 weisen die günstige Eigenschaftskombination einer hohen Härte, einer Thermoschockbeständigkeit und eines kleinen thermischen Ausdehnungskoeffizienten auf. Zudem weisen sie bis zu einer Temperatur von $1.100^\circ C$ einen niedrigeren Partialdruck als austenitischer Edelstahl auf.

[0018] Für eine Schutzschicht kommen des Weiteren keramische Hochtemperaturwerkstoffe, wie insbesondere AlN oder ZrO_2 , in Frage. Im Gegensatz zu ZrO_2 zeigt hierbei AlN zudem eine bessere Wärmeleitfähigkeit, was sich noch günstiger auf die Schutzschichteigenschaften und damit die Lebensdauer des Vakuumgehäuses auswirkt.

[0019] Ferner eignen sich Schutzschichten aus Materialien, die für Gasturbinenschutzschichten verwendet werden. Sie erhöhen merklich die Lebensdauer des Vakuumgehäuses. Sie bestehen vorzugsweise aus einer metallischen Schicht aus NiCrAlY oder Co-CrAlY mit oder ohne Zusatz von Rhenium. Zusätzlich können sie in einer bevorzugten Ausführungsform eine oxidische Wärmedämmschicht aus Yttrium stabilisiertem ZrO_2 enthalten.

[0020] Ebenso wie die Materialien SiC und Si_3N_4 weisen ZrO_2 sowie Gasturbinenschutzschichten einen vorteilhaften niedrigeren Partialdruck im Vergleich zu austenitischem Edelstahl bei Temperaturen bis $1.100^\circ C$ auf, so dass sie als Schutzschichtmaterial besonders geeignet sind.

[0021] Neben der besonderen Materialwahl für die Schutzschicht spielt auch der Ort der Beschichtung für die Erhöhung der Lebensdauer eine Rolle. Es ist festgestellt worden, dass bei einem Vakuumgehäuse, das einen Anodenraum und einen Kathodenraum und einen diese beiden Räume verbindenden Schacht aufweist, wobei der Primärelektronenstrahl durch den Schacht auf die Anode fällt, insbesondere

die Lochleibung des sich zum Anodenraum öffnenden Schachtes belastet wird. Um bei geringem Materialverbrauch die Lebensdauer merklich zu steigern, wird daher vorzugsweise nur diese Lochleibung beschichtet. Hierbei reicht es aus, die Lochleibung partiell bzw. teilweise und insbesondere nur zur Hälfte, d.h. halbrund, auf der zum Strahlungsfenster weisenden Seite zu beschichten.

[0022] Für sehr hohe Belastungen kann die Lochleibung auch vollständig im Sinne von rundum beschichtet sein.

[0023] Vorzugsweise soll die Schichtdicke der Schutzschicht 0,5 bis 3 mm betragen, wobei Schichtdicken von 0,5 bis 0,7 mm schon gute Ergebnisse bringen.

[0024] Wie bereits aus der DE 196 12 220 A1 bekannt, kann die Schutzschicht Teil eines zweischichtigen Verbundwerkstoffs sein, der in die Wandung des Vakuumgehäuses eingesetzt ist. Wirtschaftlicher lässt sich die Beschichtung aber auf das Grundmaterial mit einem Beschichtungsverfahren aufbringen.

[0025] Verfahrensgemäß wird vorgeschlagen, dass die Schutzschicht aus den erfindungsgemäß beanspruchten Materialien durch Plasmaspritzen auf die Wandung aufgebracht wird. Bei diesem Verfahren wird ein Pulver in einer Plasmaflamme aufgeschmolzen und auf das Trägermaterial beschleunigt und aufgebracht. Für das Beschichten mit Niob und/oder seiner Legierungen ist das Vakuumplasmaspritzen (VPS) das wirtschaftlichste und auch günstigste Verfahren, um zu vermeiden, dass Niob mit einem anderen Element eine spröde Verbindung eingeht. Insbesondere bei der Beschichtung mit Gasturbinenschutzschichten kommt auch das atmosphärische Plasmaspritzen (APS) in Frage.

[0026] Mit Hilfe des Plasmaspritzens können die gewünschten Schutzschichtdicken zwischen 0,5 und 3 mm am besten aufgetragen werden. Zudem ist mit dieser Methode zusätzlich der Ort der Beschichtung beliebig eingrenzbar, was auch die Beschichtung der Lochleibung nur zu Hälfte möglich macht. Durch diese Begrenzung wird außerdem erreicht, dass der Durchmesser des Schachtes bezüglich der Elektronenstrahlableitung nicht merkbar verkleinert wird, was ein wichtiges Kriterium ist.

[0027] Es kommt grundsätzlich als Auftragsverfahren auch das bereits aus der DE 196 12 220 A1 bekannte Löten und hier vorzugsweise ein Einlöten eines Schutzhemdes („Thermosleeve“) in Frage. Das Plasmaspritzen ist aber bevorzugt, da das Löten wegen der notwendigen Formtreue für einen Materialschluss teuer ist und das Risiko der Versprödung der Lotverbindung besteht.

Ausführungsbeispiel

[0028] Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und aus der nachfolgenden Beschreibung, in der die in den Figuren dargestellten Ausführungsformen der Erfindung näher erläutert werden. Dabei sind neben den oben aufgeführten Kombinationen von Merkmalen auch Merkmale alleine oder in anderen Kombinationen erfindungswesentlich. Es zeigen:

[0029] Fig. 1 ausschnittsweise einen Längsschnitt durch ein Vakuumgehäuse einer Röntgenröhre,

[0030] Fig. 2 eine Draufsicht auf eine nicht beschichtete Schachtlochleibung des Deckels mit Thermoschockrisen,

[0031] Fig. 3 eine Detailansicht der Fig. 2, wobei die Lochleibung zur Hälfte mit einer Niob-Schutzschicht versehen ist,

[0032] Fig. 4 eine Wöhlerkurve für einen austenitischen Edelstahl, und

[0033] Fig. 5 einen Teilschnitt durch ein Vakuumgehäuse einer Röntgenröhre nach dem Stand der Technik.

[0034] Mit Hilfe der Fig. 5 soll ein Vakuumgehäuse 1, hier ein Vakuumgehäuse einer Hochleistungs-Röntgenröhre für die Computertomographie, nach dem Stand der Technik beschrieben werden. In dieses ist mittels eines Isolators 2 eine Kathodenanordnung 3 eingesetzt, die eine in einer Fokussierungsnut 3a eines Kathodenbeckers 3b aufgenommene Glühkathode 3c enthält. Von dieser geht ein strichliert angedeuteter Elektronenstrahl E aus, der in einem Brennfleck BF auf die Auftrefffläche 4a einer Drehanode 4 auftrifft. Das Vakuumgehäuse 1 ist mit einem beispielsweise aus Beryllium gebildeten Strahleneintrittsfenster 5 versehen, durch das im Betrieb der Röntgenröhre das vom Brennfleck BF ausgehende Röntgenstrahlbündel austritt, dessen Zentral- und Randstrahlen in der Fig. 5 strichliert angedeutet und mit ZS bzw. RS bezeichnet sind. Insgesamt setzt sich das Vakuumgehäuse 1 aus einem die Drehanode 4 aufnehmenden Raum 6 (Anodenraum) und einem die Kathodenanordnung 3 aufnehmenden Raum 7 (Kathodenraum) zusammen, die mit einem Schacht 8 verbunden sind.

[0035] Wenn bei Aktivierung der Röntgenröhre der Sekundärelektronenstrom zu fließen beginnt, ist das Vakuumgehäuse 1 in seinem dem Brennfleck BF benachbarten Bereich einer thermoschockartigen Belastung unterworfen. Um die Thermoschockbeständigkeit zu erhöhen und Thermoschockrisse zu verhindern, ist die Wandung 9 des Vakuumgehäuses in dem belasteten Bereich mit einer Schutzschicht 10

versehen.

[0036] Die Fig. 1 verdeutlicht an Hand einer etwas abgewandelten Ausführungsform eines Vakuumgehäuses **1**, welches aber im Wesentlichen aus den gleichen Bauteilen wie das Vakuumgehäuse nach Fig. 5 besteht, den durch die Sekundärelektronen gefährdeten Bereich der Lochleibung **11** eines an einem Deckel **12** des Vakuumgehäuses **1** angeordneten Schachtes **8** sowie den Ort der Beschichtung. Es werden zur Kennzeichnung der Bauteile der Fig. 5 entsprechende Bezugszeichen verwendet.

[0037] Der gezeigte Schacht **8** soll einerseits den Kathodenraum **7** von dem Anodenraum **6** trennen. Auf diese Weise wird die Kathode **3** vor der Hitzeabstrahlung des gesamten Anodentellers geschützt und aufgrund der Raumtrennung die Spannungsfestigkeit verbessert. Andererseits ist ein derartiger Schacht **8** ein günstiger Ort, um eine Ablenspule für den Elektronenstrahl anzubringen.

[0038] Die Lochöffnung des Schachtes **8** im Deckel **12** der Röntgenröhre bzw. die Lochleibung **11** des Schachtes **8** ist beim Betrieb der Röntgenröhre besonders belastet. Bei jedem Scan tritt auf diese Lochleibung **11** eine Sekundärelektronenwolke auf, deren Leistungsdichte auf mindestens 100 W/cm^2 geschätzt werden kann. Zu Beginn des Scans tritt ein Thermoschock auf, der das Material in der Lochleibung **11** ermüdet. Die Folge sind Thermoschockrisse TR in der Lochleibung **11** im Übergang zum Deckel **12**, wie dies die Aufnahme in Fig. 2 verdeutlicht. Es handelt sich hier um eine mikroskopische Aufnahme der Lochleibung **11** in einer in Fig. 1 mit einem Pfeil BL gezeigten Blickrichtung, die den Grad der Thermoschockrisse zeigt, wenn die Lochleibung **11** nicht beschichtet wäre. Die Bildung der Thermoschockrisse hängt hierbei nicht von der Dauer der Belastung ab, sondern nur von der Höhe des Belastungsniveaus und der Anzahl der Belastungen.

[0039] Zur Reduzierung der thermoschockartigen Belastung des dem Brennfleck BF benachbarten Bereiches der Wandung des Vakuumgehäuses **1** sind die bezüglich Materialermüdung besonders gefährdeten Bereiche des Vakuumgehäuses mit einer Schutzschicht **10** versehen. Besonders gefährdet ist der Leibungsbereich **11** des Schachtes **8** und hier insbesondere die Lochleibungshälfte **13**, die in Richtung des Strahlenaustrittsfensters **5** weist.

[0040] Die Detailansicht der Fig. 3 zeigt eine Röntgenröhre mit einem Vakuumgehäuse **1** mit Topf **14** und Deckel **12**, bei dessen Schacht **8** die Lochleibung **11** zur Hälfte mit einer Thermoermüdungsschutzschicht **10** beschichtet worden ist, und zwar auf der besonders gefährdeten Seite **13** bzw. dem Halbrund in Richtung des Strahlenaustrittsfensters **5**.

[0041] Die Schutzschicht **10**, die insbesondere aus Niob besteht, wurde mit einem Vakuumplasmaspritzverfahren aufgebracht und weist hier eine Dicke von $0,5\text{--}0,7 \text{ mm}$ auf. Niob erweist sich als besonders bevorzugt für eine Schutzschicht. Die Gründe hierfür sind, dass Niob ein sehr weiches und duktiles Metall ist. Es hat außerdem bei sehr hohen Temperaturwerten einen sehr kleinen Partialdruck bzw. Dampfdruck. Der thermische Ausdehnungskoeffizient ist sehr klein, was das Material gegenüber Thermoermüdung resistenter als das Wandungsmaterial aus Edelstahl macht. Die Duktilität führt zu einer nur geringen Wahrscheinlichkeit, dass bei Gefügeermüdung Partikel abgegeben werden.

[0042] Folgende Erläuterungen sollen die Wirkungsweise der Schutzschicht des Weiteren verdeutlichen:

Die Schutzschicht kompensiert bereits den größten Teil des Temperaturunterschieds. Dadurch sind die mechanischen Spannungen des mit einer Schutzschicht versehenen Grundmaterials weniger hoch. Dies führt bereits zu einer wesentlichen Verbesserung der derzeitigen Lebensdauer.

[0043] Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei Stählen bei einer Herabsetzung der Spannung um etwa 30% eine Lebensdauererwartung von einem Faktor 4 erreichbar ist. Dieser Zusammenhang zwischen dem Lastwechsel und dem Bruch bzw. der Bruchlastspielzahl bei bestimmten zyklischen Belastungen wird insbesondere anhand des Wöhlerdiagramms für austenitische Edelstähle gemäß Fig. 4 deutlich.

[0044] Die Zyklenzahl bis zum Bruch hängt von der -4 . Potenz der mechanischen Spannung ab. Bei der Herabsetzung der Spannung σ_1 um etwa 30% auf eine Spannung σ_2 ergibt sich eine Lebensdauerverlängerung von

$$\log(\sigma_2/\sigma_1)/\log(N_{B2}/N_{B1})=-1/4$$

$$\Rightarrow \log(1/0,7)/\log(N_{B2}/N_{B1})=-1/4$$

$$\Rightarrow -0,6196=\log(N_{B2}/N_{B1})$$

$$\Rightarrow N_{B1}\approx N_{B2}/0,24$$

$$\Rightarrow N_{B1}\approx N_{B2}$$

wobei N_{B1} , N_{B2} die entsprechenden Bruchlastspielzahlen zu den Spannungen σ_1 , σ_2 sind .

[0045] Das bedeuten, dass bei einer Reduzierung der Spannung um 30% die Bruchlastspielzahl N_{B1} ungefähr um den Faktor 4 erhöht ist. Aber auch eine Steigerung der Bruchlastspielzahl um den Faktor 2 ist schon ein großer Gewinn bei einem Belastungsbereich von ca. 20.000 Aufnahmen.

[0046] Ohne die erfindungsgemäße Beschichtung mit den beanspruchten Schutzschichtmaterialien kommt es zu Thermoschockrisen in den beanspruchten Bereichen. Untersuchungen zeigten die

Merkmale eines stufenweisen Rissfortschritts, die ein ähnliches Aussehen wie Schwingungsstreifen bei Ermüdungsbrüchen aufwiesen. Diese Schwingungsstreifen entstehen bei jedem Scan oder einem Vielfachen von Scans. Der Start der Anrisse war in der Lochleibung des Schachtes des Deckels, der damit der am meisten beanspruchte Ort ist, wie dies auch in Fig. 2 gezeigt wird. Weitere Untersuchungen der mit Niob beschichteten Hälfte der Lochleibung anhand von Oberflächenparallelschliffen zeigten die Wirkungsweise der Schutzschicht. Nur die Schutzschicht wies Anrisse auf, während das Grundmaterial ohne Anrisse war bzw. einen vernachlässigbar kleinen Anriss aufwies.

[0047] Die Erfindung kann auch bei sogenannten einpoligen Röntgenröhren angewendet werden, bei denen das Vakuumgehäuse und die Anode auf einem gemeinsamen Potential liegen. Die Erfindung kann darüber hinaus auch bei sogenannten zweipoligen Röntgenröhren zur Anwendung kommen, bei denen das Vakuumgehäuse auf einem Potential liegt, das zwischen dem der Anode und dem der Kathode liegt. Obwohl die Erfindung am Beispiel von Drehanoden-Röntgenröhren beschrieben ist, können auch Festanoden-Röntgenröhren mit einem erfindungsgemäßen Vakuumgehäuse versehen werden.

Patentansprüche

1. Vakuumgehäuse (1) für eine Röntgenröhre, dessen Wandung (9) wenigstens in einem im Betrieb der Röntgenröhre einem Brennfleck (BF) der Röntgenröhre benachbarten Bereich mit einer Schutzschicht (10) versehen ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schutzschicht (10) aus einer Materialgruppe auswählbar ist, die besteht aus

- Niob, Titan, Zirkon, Hafnium, Vanadium, Tantal, Chrom, Molybdän oder Wolfram und/oder deren Legierungen und/oder
- aus metallischen oder nichtmetallischen Hartstoffen und/oder
- keramischen Hochtemperaturwerkstoffen und/oder
- Gasturbinenschutzschichten.

2. Vakuumgehäuse nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Schutzschicht (10) aus einem Material besteht, das einen geringeren Partialdruck als das Material der Wandung aufweist.

3. Vakuumgehäuse nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Schutzschicht (10) aus metallischen Hartstoffen der Übergangsmetalle aus der 4., 5. und 6. Nebengruppe des Periodensystems der chemischen Elemente oder aus den nichtmetallischen Hartstoffen SiC und Si₃N₄ besteht.

4. Vakuumgehäuse nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Schutzschicht (10) aus den keramischen Hochtemperaturwerkstoffen

AlN oder aus ZrO₂ besteht.

5. Vakuumgehäuse nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Vakuumgehäuse (1) einen Anodenraum (6) und einen Kathodenraum (7) und einen diese beiden Räume verbindenden Schacht (8) aufweist, wobei die Lochleibung (11) des sich zum Anodenraum (6) öffnenden Schachtes (8) teilweise oder vollständig mit der Schutzschicht (10) versehen ist.

6. Vakuumgehäuse nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Lochleibung (11) des Schachtes (8) in etwa zur Hälfte (13) mit der Schutzschicht (10) versehen ist.

7. Vakuumgehäuse nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Schichtdicke der Schutzschicht (10) 0,5 bis 3mm beträgt.

8. Vakuumgehäuse nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Wandung (9) des Vakuumgehäuses aus einem Metall gebildet ist.

9. Vakuumgehäuse nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Schutzschicht (10) durch ein Beschichtungsverfahren auf die Wandung (9) aufgetragen ist.

10. Vakuumgehäuse nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Schutzschicht Teil eines zweischichtigen Verbundwerkstoffs ist, der in die Wandung eingesetzt ist.

11. Röntgenröhre mit einem Vakuumgehäuse (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 10.

12. Verfahren zur Herstellung eines Vakuumgehäuses (1) für eine Röntgenröhre, dessen Wandung (9) wenigstens in dem im Betrieb der Röntgenröhre dem Brennfleck (BF) der Röntgenröhre benachbarten Bereich mit einer Schutzschicht (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 10 versehen ist, welches den Verfahrensschritt aufweist, dass die Schutzschicht (10) durch Plasmaspritzen auf die Wandung (9) aufgebracht wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Schutzschicht (10) durch Vakuumplasmaspritzen oder durch atmosphärisches Plasmaspritzen auf die Wandung aufgebracht wird.

14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Schutzschicht (10) nur auf eine Lochleibung (11) eines sich zwischen einem Anodenraum (6) und einem Kathodenraum (7) erstreckenden Schachtes (8) aufgebracht wird.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

FIG 2

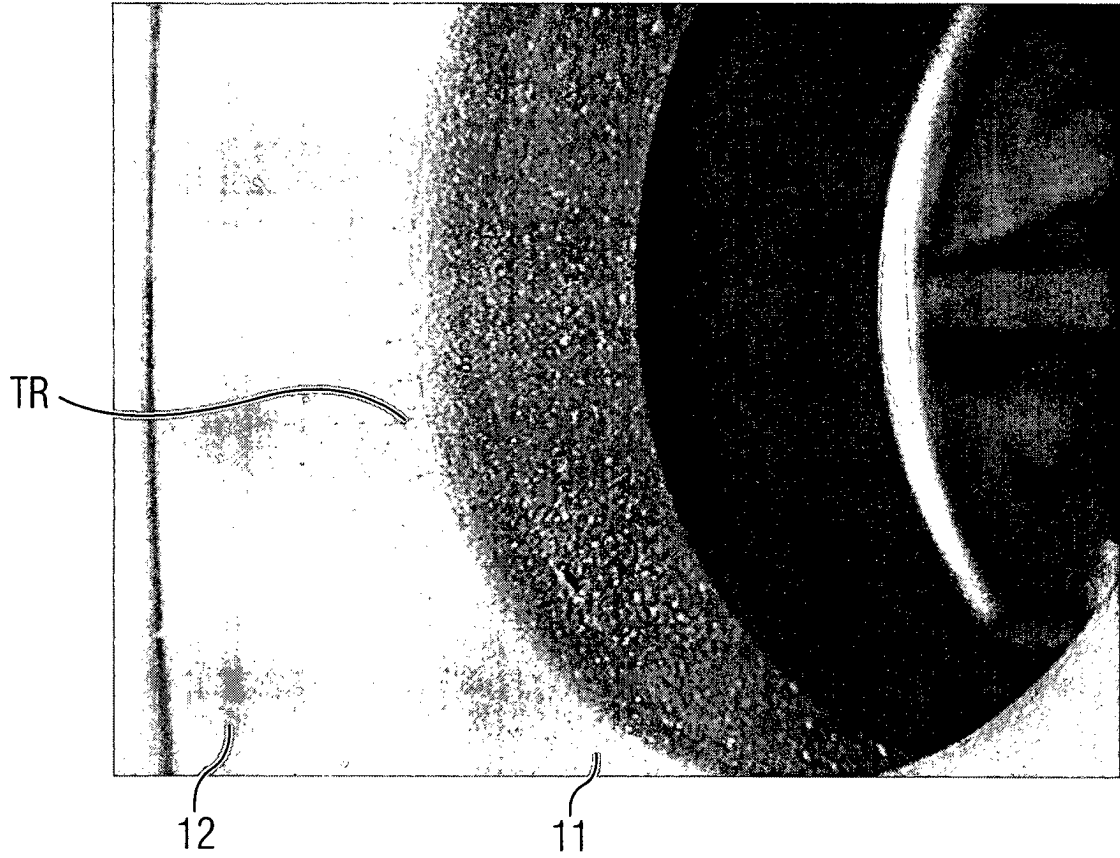


FIG 4

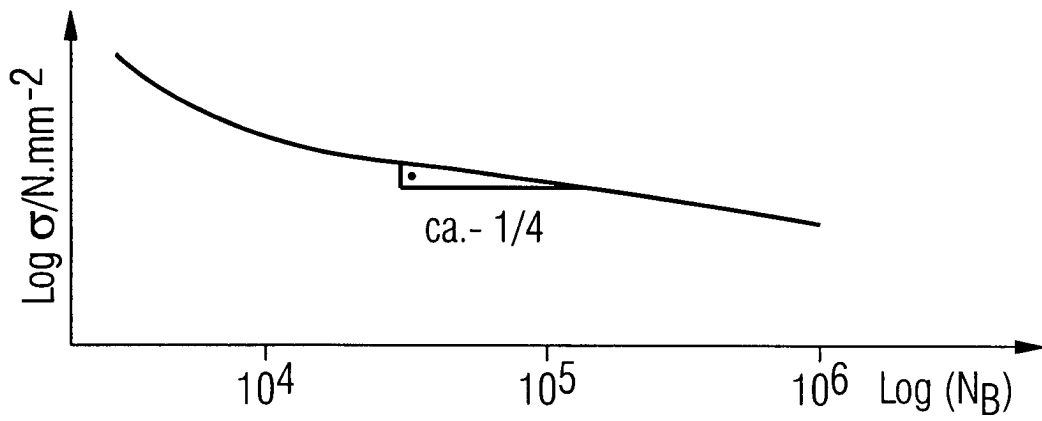


FIG 3

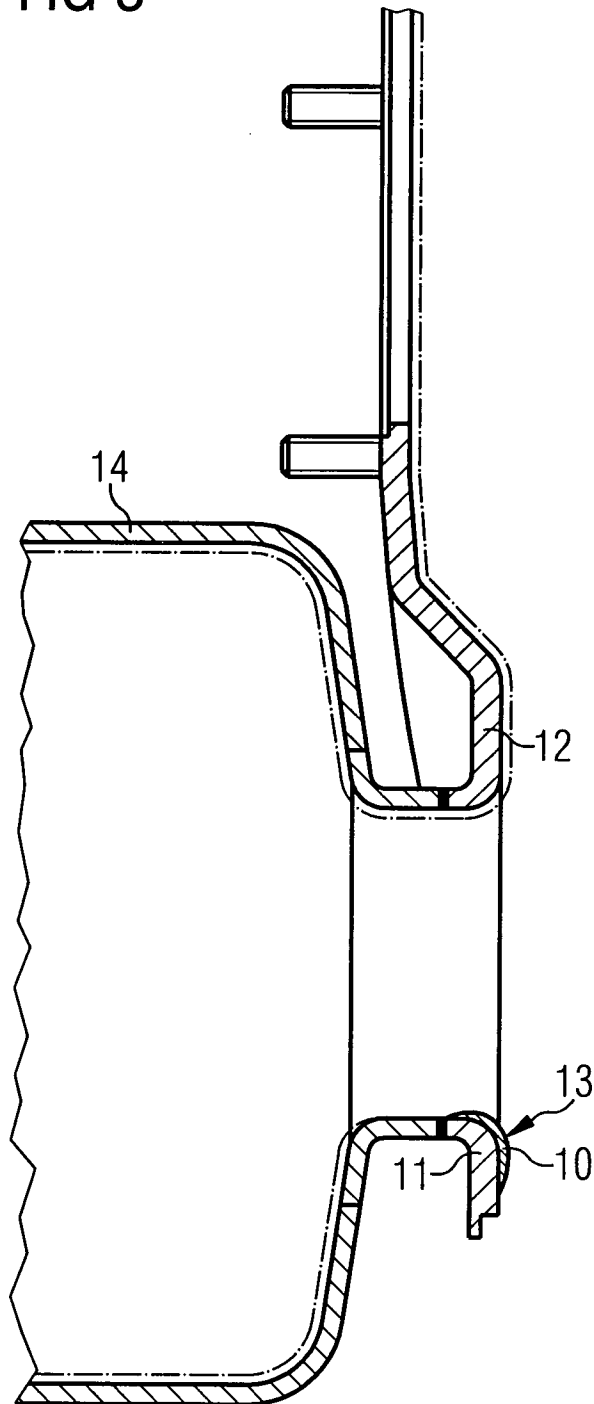


FIG 5 Stand der Technik

