

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 51157/2018
(22) Anmeldetag: 27.12.2018
(45) Veröffentlicht am: 15.06.2024

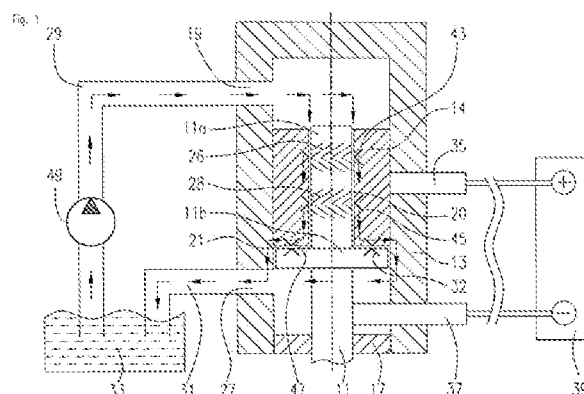
(51) Int. Cl.: **B23H 3/04** (2006.01)
B23H 9/00 (2006.01)
F16C 33/10 (2006.01)
F16C 33/14 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
JP 2008290195 A
US 6358394 B1
DE 102015015162 A1
US 2003221973 A1

(73) Patentinhaber:
MINEBEA MITSUMI Inc.
389-0293 Nagano-ken (JP)
(72) Erfinder:
Bauer Martin
78052 Villingen-Schwenningen (DE)
(74) Vertreter:
Gibler & Poth Patentanwälte KG
1010 Wien (AT)

(54) Vorrichtung und Verfahren zur elektrochemischen Bearbeitung eines metallischen Werkstücks

(57) Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur elektrochemischen Bearbeitung einer Lagerbuchse (14) eines fluiddynamischen Lagers, wobei mittels einer Elektrode (11) durch Materialabtrag Lagerrillenstrukturen (43, 45, 47) in mindestens eine Oberfläche der Lagerbuchse (14) eingebracht werden, indem die Elektrode (11), getrennt durch einen Elektrolytspalt (21), gegenüberliegend der Oberfläche der Lagerbuchse (14) angeordnet wird, wobei der Elektrolytspalt (21) von einer Elektrolytlösung durchströmt ist und einen Einlass (19) und einen Auslass (27) für die Elektrolytlösung aufweist, wobei in der Lagerbuchse (14) entlang eines radial verlaufenden Lagerabschnitts ein Axiallager (47) angeordnet ist, das Axiallagerrillen (47) aufweist, und entlang eines axial verlaufenden Lagerabschnitts (11a) mindestens zwei Radiallager (126) angeordnet sind, die jeweils Radiallagerstrukturen (43, 45) aufweisen, wobei der Einlass (19) für die Elektrolytlösung auf derjenigen Seite der Lagerbuchse (14) angeordnet ist, welche dem Axiallager (47) gegenüberliegt.



Beschreibung

VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR ELEKTROCHEMISCHEN BEARBEITUNG EINES METALLISCHEN WERKSTÜCKS

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur elektrochemischen Bearbeitung eines metallischen Werkstücks und insbesondere zur Bearbeitung eines metallischen Lagerbauteils eines fluiddynamischen Lagers. Derartige fluiddynamische Lager werden beispielsweise in Spindelmotoren eingesetzt, die z. B. zum Antrieb von Festplattenlaufwerken verwendet werden.

[0002] Fluiddynamische Lager zur Drehlagerung von Spindelmotoren umfassen in der Regel mindestens zwei relativ zueinander drehbare Lagerbauteile, die zwischen einander zugeordneten Lagerflächen einen mit einem Lagerfluid, z. B. einem Lageröl, gefüllten Lagerspalt ausbilden. Auf den Lagerflächen der Lagerbauteile sind Lagerrillenstrukturen in Form von Vertiefungen aufgebracht. Die Lagerrillenstrukturen dienen als Pumpstrukturen, die innerhalb des Lagerspalts einen hydrodynamischen Druck erzeugen, sobald sich die Lagerbauteile relativ zueinander bewegen. Bei Radiallagern werden beispielsweise parabelförmige, sinusförmige oder fischgrätartige Lagerrillenstrukturen verwendet, die senkrecht zur Rotationsachse der Lagerbauteile über den Umfang von mindestens einem Lagerbauteil verteilt angeordnet sind. Bei Axiallagern werden bevorzugt spiralförmige oder entlang einer Kreislinie angeordnete fischgrätenartige (herringbone) Lagerrillenstrukturen verwendet.

[0003] Die Lagerrillenstrukturen von solchen fluiddynamischen Miniaturlagern haben Abmessungen im Mikrometerbereich und können daher vorteilhaft durch ein elektrochemisches Abtragsverfahren (ECM: Electro Chemical Machining) auf die Lagerflächen aufgebracht werden. Hierzu wird eine entsprechende Elektrode zur elektrochemischen Bearbeitung eingesetzt, die einen Elektrodenkörper aus einem elektrisch leitenden Material aufweist, dessen Oberfläche teilweise mit einem Isoliermaterial versehen ist, sodass sich entweder elektrisch leitende metallische Bereiche oder elektrisch isolierte Bereiche auf der Oberfläche der Elektrode ergeben, die ein positives Abbild der herzustellenden Lagerrillenstrukturen sind. Der Materialabtrag am Werkstück erfolgt durch anodische Auflösung des elektrisch leitenden Werkstücks. Zur Bearbeitung wird ein Stromkreis zwischen Anode (Werkstück) und Kathode (Elektrode) über eine Elektrolytlösung, beispielsweise eine Natriumnitrat- oder eine Natriumchlorid-Lösung, geschlossen. Die Elektrode ist durch einen schmalen Elektrolytspalt von dem Werkstück getrennt, der mit Elektrolytlösung gefüllt ist. Die Elektrolytlösung wird über einen Einlass in den Elektrolytspalt eingeleitet, durchströmt den Elektrolytspalt und verlässt den Elektrolytspalt über einen Auslass.

[0004] Um Prozesszeit zu sparen werden bei einem fluiddynamischen Lagersystem vorzugsweise alle benötigten Lagerrillenstrukturen in einem einzigen Arbeitsgang auf die Lageroberflächen aufgebracht, beispielsweise Lagerrillenstrukturen für ein oder zwei Axiallager sowie für ein oder zwei Radiallager, die entlang des Elektrolytspalts nacheinander angeordnet sind. Auf Grund dessen weist der Elektrolytspalt eine relativ große Länge auf.

[0005] Eine derartige Vorrichtung und ein Verfahren zur elektrochemischen Bearbeitung eines metallischen Werkstücks sind beispielsweise in der DE 10 2010 014 970 A1 oder JP 2005-246493 A offenbart.

[0006] Aus der DE 11 2005 002 175 T5 ist ein Werkzeug für die elektrochemische Bearbeitung eines Werkstücks bekannt, insbesondere zur Bearbeitung eines Lagerbauteils zum Einbringen von Lagerrillenstrukturen eines fluiddynamischen Lagers. Es werden in einem Arbeitsgang gleichzeitig Lagerrillenstrukturen für ein fluiddynamisches Axiallager und Lagerrillenstrukturen für zwei in einem gegenseitigen Abstand angeordnete fluiddynamische Radiallager eingebracht (vgl. Fig. 2).

[0007] Die Elektrolytlösung wird über einen Einlass 21 in einen Elektrolytspalt zwischen der Elektrode 11, 12 und dem Werkstück 4 eingebracht und wird mit hohem Druck durch den Elektrolytspalt gepresst und verlässt diesen nach unten. Bei diesem Verfahren werden also zunächst der

Bereich des fluiddynamischen Axiallagers 13 und dann die Bereiche der beiden fluiddynamischen Radiallager 12 von der Elektrolytlösung durchströmt.

[0008] Aus der JP 2008-290195 A ist bekannt die Lagerstrukturen der Radiallager nacheinander zu erzeugen.

[0009] Aus der US 6 258 394 B1 ist ein Verfahren zur gleichzeitigen Bearbeitung sowohl von Radiallager- als auch Axiallagerstrukturen in einer Lagerbuchse bekannt.

[0010] Aus der DE 10 2015 015 162 A1 ist ein Verfahren zur elektrochemischen Bearbeitung von beschichteten Wellen bekannt.

[0011] Im Vergleich zu den Lagerrillenstrukturen der Radiallager sind die Lagerrillenstrukturen des fluiddynamischen Axiallagers sehr tief in die Oberfläche des Werkstücks eingebracht. Dadurch ist der Materialabtrag zur Herstellung der Lagerrillenstrukturen des Axiallagers sehr groß und führt zu einer deutlichen Verunreinigung der Elektrolytlösung. Insbesondere bei Werkstücken aus Messing tritt dieser Effekt auf, da bei Messing mehr Erosion und Überbrand auftritt als beispielsweise bei Werkstücken aus Stahl.

[0012] Das führt dazu, dass die Elektrolytlösung im Bereich des Einlasses noch nicht verunreinigt ist, während sie durch die Abtragungsprozesse entlang des Elektrolytspalts immer mehr verschmutzt und abgetragenes Material, Gasblasen und sonstige Verunreinigungen enthält.

[0013] Die Qualität der Oberflächenstrukturen bzw. Lagerrillenstrukturen hinsichtlich deren Formgenauigkeit und Gleichförmigkeit ist u. a. wesentlich vom Reinheitsgrad der Elektrolytlösung abhängig.

[0014] Während die Qualität der Oberflächenstrukturen am Anfang des Elektrolytspalts noch sehr gut ist, lässt diese im weiteren Verlauf des Elektrolytspalts nach, d. h. die angestrebte Geometrie sowie die Konturschärfe der Lagerrillenstrukturen wird im Verlauf des Elektrolytspalts vom Einlass in Richtung Auslass der Elektrolytlösung schlechter, wobei auch eine verstärkte Erosion der Oberfläche des Werkstücks zwischen den einzelnen einzubringenden Konturen zu beobachten ist.

[0015] Durch die sich verschlechternde Qualität der Lagerrillenstrukturen leidet die Effektivität der fluiddynamischen Lagerbereiche, insbesondere bei asymmetrischen fluiddynamischen Lagern, welche eine bewusste Asymmetrie aufweisen, um das Lagerfluid im Lager in eine bestimmte Richtung zu lenken.

[0016] Durch den Qualitätsverlust bei den elektrochemischen Verfahren kann es dazu kommen, dass sich die vorgesehene Asymmetrie drastisch verschlechtert oder sogar verschwindet, sodass das Lager nicht mehr in seiner geplanten Weise arbeitet. Dies kann sogar dazu führen, dass ein solches Lager die Funktionstests nicht besteht und in den Ausschuss gelangt.

[0017] Es ist die Aufgabe der Erfindung, eine Vorrichtung und ein Verfahren zur elektrochemischen Bearbeitung eines metallischen Werkstücks anzugeben, welche eine genauere und reproduzierbare Ausbildung der Oberflächenstrukturen ermöglichen.

[0018] Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung und ein Verfahren mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche gelöst.

[0019] Bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung und weitere vorteilhafte Merkmale sind in den abhängigen Patentansprüchen angegeben.

[0020] Bei der Vorrichtung zur elektrochemischen Bearbeitung eines metallischen Werkstücks werden mittels einer Elektrode durch Materialabtrag Oberflächenstrukturen in eine Oberfläche des Werkstücks eingebracht, indem die Elektrode, getrennt durch einen Elektrolytspalt, gegenüberliegend der Oberfläche des Werkstücks angeordnet wird, wobei der Elektrolytspalt von einer Elektrolytlösung durchströmt ist und einen Einlass und einen Auslass für die Elektrolytlösung aufweist.

[0021] Erfindungsgemäß ist der Einlass für die Elektrolytlösung nächstliegend zu denjenigen einzubringenden Oberflächenstrukturen angeordnet, für welche die größte Formgenauigkeit und

Gleichförmigkeit gefordert ist.

[0022] Die Elektrolytlösung wird dem Elektrolytspalt dort zugeführt, wo die höchste Genauigkeit der Oberflächenstrukturen verlangt ist, d. h. der Einlass für die Elektrolytlösung befindet sich nächstliegend zu den Bereichen des Werkstücks, in welche die Oberflächenstrukturen mit der größten Formgenauigkeit und Gleichförmigkeit eingebracht werden sollen.

[0023] Bei fluiddynamischen Lagern sind vorzugsweise die Oberflächenstrukturen mit der höchsten Genauigkeit ausgeführt, die sich an der engsten Stelle des Lagerspalts befinden. Je enger der Lagerspalt, desto wirksamer sind die fluiddynamischen Kräfte, die z. B. die Lagersteifigkeit erzeugen.

[0024] Durch die Erfindung verbessern sich die Konturschärfe und die Formgenauigkeit der Oberflächenstrukturen, insbesondere auf der Seite des Einlasses der Elektrolytlösung, wobei die Oberflächenerosion der Werkstückoberfläche zwischen den einzelnen eingebrachten Oberflächenstrukturen ebenfalls reduziert wird.

[0025] Mit dieser Vorrichtung und dem vorgeschlagenen Verfahren können sehr viel genauere Oberflächenstrukturen oder sogar noch feinere Oberflächenstrukturen auf dem Werkstück erzeugt werden. Das bedeutet, die Geometrie der einzubringenden Oberflächenstrukturen kann sehr viel besser gesteuert und reproduzierbar hergestellt werden.

[0026] Bei der Anwendung der Erfindung zum Einbringen von Lagerrillenstrukturen auf der Oberfläche eines Lagerbauteils ergeben sich verbesserte Lagereigenschaften wie beispielsweise eine höhere Lagersteifigkeit und eine längere Lebensdauer des Lagers.

[0027] Insbesondere kann die Formgenauigkeit und Gleichförmigkeit hinsichtlich der Breite der Lagerrillenstrukturen der Tiefe, der Konturschärfe und insgesamt der Querschnitt zur Fläche verbessert werden.

[0028] Auch lassen sich identische und gleichförmige Lagerrillenstrukturen mit guter Reproduktion herstellen.

[0029] Das metallische Werkstück bzw. das Lagerbauteil des fluiddynamischen Lagersystems kann insbesondere aus einer Metalllegierung, beispielsweise einer Eisenlegierung oder, besonders bevorzugt, aus einer Messinglegierung bestehen.

[0030] Insbesondere bei Metallen oder Legierungen mit geringer Härte wie beispielsweise Messing lässt sich das erfindungsgemäße Verfahren vorteilhaft anwenden, da die herzustellenden Lagerrillenstrukturen sehr viel genauer und formstabiler hergestellt werden können.

[0031] Derartige Lagerrillenstrukturen haben eine Rillentiefe im Bereich von einigen Mikrometern bis einigen 10 Mikrometern und eine Rillenbreite im Bereich von einigen 10 Mikrometern bis einigen 100 Mikrometern.

[0032] Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass die Fließrichtung der Elektrolytlösung von den Bereichen der Lagerrillenstrukturen, die eine besonders gute Genauigkeit aufweisen müssen, in Richtung der Bereiche der Lagerrillenstrukturen, die eine weniger große Genauigkeit aufweisen müssen, verläuft.

[0033] Durch die Erfindung lässt sich insbesondere bei Messingbauteilen die durchschnittliche Erosion auf der Werkstückoberfläche um mindestens den Faktor 2 verringern, und die durchschnittliche Gleichförmigkeit der Lagerrillenstrukturen lässt sich ebenfalls um mindestens den Faktor 2 verbessern.

[0034] Nachfolgend wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels mit Bezugnahme auf die Zeichnungsfikuren näher beschrieben. Hierbei ergeben sich weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung.

[0035] Fig. 1 zeigt schematisch einen Schnitt durch eine Vorrichtung zur elektrochemischen Bearbeitung eines metallischen Werkstücks gemäß der Erfindung.

- [0036]** Fig. 2 zeigt einen Schnitt durch eine bevorzugte Ausgestaltung eines Spindelmotors mit einer erfindungsgemäß bearbeiteten Lagerbuchse.
- [0037]** Fig. 3 zeigt eine Messung der Tiefe der Lagerrillenstrukturen eines Radiallagers eingebracht mittels eines Verfahrens gemäß dem Stand der Technik.
- [0038]** Fig. 4 zeigt eine Messung der Tiefe der Lagerrillenstrukturen eines Radiallagers nach dem Verfahren gemäß der Erfindung.
- [0039]** Fig. 5 zeigt Messwerte der Oberflächenerosion im Bereich des Radiallagers.
- [0040]** Fig. 6 zeigt Messwerte der Oberflächenerosion gemäß Fig. 4 als Kastengrafik (Boxplot).
- [0041]** Fig. 7 zeigt Messwerte der Rillentiefe des Radiallagers im Apex als Kastengrafik.
- [0042]** Fig. 8 zeigt Messwerte der Rillenbreite des Radiallagers im Apex als Kastengrafik.
- [0043]** Fig. 9 zeigt Messwerte der Asymmetrie der Rillentiefe des Radiallagers als Kastengrafik.
- [0044]** Fig. 10 zeigt Messwerte der Asymmetrie der Rillenbreite des Radiallagers als Kastengrafik.
- [0045]** Fig. 11 zeigt Messwerte der Asymmetrie der Rillenquerschnittsfläche des Radiallagers als Kastengrafik.
- [0046]** Fig. 12 zeigt Messwerte der mittleren Rillentiefe des inneren Radiallagers als Kastengrafik.
- [0047]** Fig. 13 zeigt Messwerte der mittleren Rillenbreite des inneren Radiallagers als Kastengrafik.
- [0048]** Das in Fig.1 beschriebene Ausführungsbeispiel bezieht sich auf die elektrochemische Bearbeitung einer Lagerbuchse 14 eines fluiddynamischen Lagersystems mittels einer sogenannten ECM-Elektrode 11.
- [0049]** Die Lagerbuchse 14 ist als hohlzylindrisches Bauteil ausgebildet und umfasst eine Lagerbohrung sowie eine Stirnfläche, deren Lageroberflächen mit Lagerrillenstrukturen 43, 45, 47 versehen werden sollen.
- [0050]** Die Vorrichtung umfasst eine Kammer 13, in welcher die Lagerbuchse 14 entsprechend positioniert und gehalten wird.
- [0051]** Die ECM-Elektrode 11 besteht aus zwei Abschnitten, einem lang gestreckten zylindrischen Abschnitt 11a mit kleinerem Durchmesser sowie einem zylindrischen Abschnitt 11b mit größerem Durchmesser.
- [0052]** Die ECM-Elektrode 11 ist in einer Haltevorrichtung 17 gehalten. Mittels der Haltevorrichtung 17 kann die Kammer 13 verschlossen werden.
- [0053]** Durch Verschließen der Kammer 13 mittels der Haltevorrichtung 17 wird die ECM- Elektrode 11 relativ zur Lagerbuchse 14 exakt positioniert. Hierbei wird der zylindrische Abschnitt 11a der ECM-Elektrode 11 in die Lagerbohrung der Lagerbuchse 14 eingeführt, wobei die Stirnseite des anderen zylindrischen Abschnitts 11b der ECM-Elektrode 11 gegenüberliegend der Stirnseite der Lagerbuchse 14 zu liegen kommt.
- [0054]** Mit Hilfe der Haltevorrichtung 17 wird die ECM-Elektrode 11 derart positioniert, dass zwischen den sich gegenüberliegenden Oberflächen der ECM-Elektrode 11 und den Oberflächen der Lagerbuchse 14 ein Elektrolytspalt 21 mit definierter Spaltbreite verbleibt.
- [0055]** Der Elektrolytspalt 21 für die Bearbeitung einer Lagerbuchse eines fluiddynamischen Lagers hat eine typische Breite von beispielsweise 30 bis 60 Mikrometern. Die Lagerbuchse hat Abmessungen von wenigen Zentimetern.

[0056] Die ECM-Elektrode 11 umfasst in ihrem ersten Abschnitt 11a zwei elektrochemisch wirksame Bereiche 26, 28, die ein Abbild der Lagerrillenstrukturen 43, 45 der Radiallager darstellen, die in die Lagerbohrung der Lagerbuchse eingebracht werden sollen.

[0057] Die elektrochemischen wirksamen Bereiche 26, 28 weisen elektrisch leitende Bereiche auf, welche den einzubringenden Lagerrillenstrukturen 43, 45 entsprechen und elektrisch nicht leitende Bereiche, die elektrisch isoliert sind und daher nicht elektrochemisch wirksam werden.

[0058] Der Abschnitt 11b der ECM-Elektrode 11 weist auf seiner Stirnfläche ebenfalls elektrochemisch wirksame Bereiche 32 auf, die ein Abbild der Lagerrillenstrukturen 47 des Axiallagers darstellen, die auf die angrenzende Stirnseite der Lagerbuchse 14 eingebracht werden sollen. Diese elektrochemisch wirksamen Bereiche 32 zur Herstellung der Lagerrillenstrukturen 47 des fluiddynamischen Axiallagers sind beispielsweise in Form eines Fischgrätenmusters ausgebildet mit elektrisch leitenden Bereichen und elektrisch nicht leitenden Bereichen.

[0059] In den Elektrolytspalt 21 wird eine Elektrolytlösung eingebracht, und zwar durch eine Zuleitung 29 und den Einlass 19. Der Einlass 19 mündet in die Kammer 13, und zwar nächstliegend des äußeren elektrochemisch wirksamen Bereichs 26 des Abschnitts 11a der an der ECM-Elektrode 11 liegt.

[0060] Die Elektrolytlösung wird in einem Elektrolytbehälter 33 vorgehalten und wird von einer Fluidpumpe 49 durch die Zuleitung 29 und den Einlass 19 in die Kammer 13 und in den Elektrolytspalt 21 gepumpt, durchströmt diesen Elektrolytspalt 21 in Pfeilrichtung nach unten und passiert dabei nacheinander die elektrochemisch wirksamen Bereiche 26, 28 und 32 der ECM-Elektrode 11. Die Elektrolytlösung tritt dann durch den Auslass 27 wieder aus der Kammer 13 aus und strömt (gegebenenfalls nach Reinigung) wieder zurück durch die Ableitung 31 in den Elektrolytbehälter 33. Während des elektrochemischen Bearbeitungsprozesses wird der Elektrolytspalt 21 permanent von der Elektrolytlösung durchströmt.

[0061] Zur elektrochemischen Bearbeitung des Werkstücks Lagerbuchse 14 wird mittels einer Spannungsquelle 39 eine elektrische Spannung zwischen der ECM-Elektrode 11 als Kathode 37 und der Lagerbuchse 14 als Anode 35 angelegt, sodass in dem Elektrolytspalt 21 durch die Elektrolytlösung der Stromkreis geschlossen wird.

[0062] Durch diesen Stromfluss zwischen der ECM-Elektrode 11 und der Lagerbuchse 14 erfolgt durch anodische Auflösung des Werkstoffs der Lagerbuchse 14 eine elektrochemische Abtragung an der Oberfläche der Lagerbuchse 14, und zwar genau gegenüberliegend zu den elektrisch leitenden Bereichen 26, 28 und 32 der ECM-Elektrode 11.

[0063] Die übrigen Bereiche der Oberfläche der ECM-Elektrode 11 sind elektrisch isolierend ausgebildet, sodass dort keine elektrochemische Abtragung des Werkstücks 14 erfolgt.

[0064] Durch den Prozess entstehen auf den entsprechenden Oberflächen der Lagerbuchse 14 im Bereich der elektrochemisch wirksamen Bereiche 26, 28, 32 der ECM-Elektrode 11 Lagerrillenstrukturen 43, 45, 47 mit einer Tiefe von einigen wenigen bis einigen 10 Mikrometern und einer Breite von einigen 10 bis einigen 100 Mikrometern, die ein Abbild der elektrisch leitenden Bereiche 26, 28 und 32 der ECM-Elektrode darstellen. Alle diese Lagerrillenstrukturen 43, 45, 47 werden in einem einzigen Arbeitsgang eingebracht.

[0065] An den randseitigen Abschnitten der einzelnen Lagerrillenstrukturen 43, 45, 47 ergibt sich auf Grund der Breite des Elektrolytspaltes 21 eine Abbildungsunschärfe, die in Form einer Erosion zwischen den einzelnen Lagerrillen zu einer flächigen Abtragung der Lageroberfläche des Lagerbauteils 14 führt.

[0066] Beim Stand der Technik gemäß DE 11 2005 002 175 T5, der oben angegeben ist, wird die Elektrolytlösung in entgegengesetzter Richtung eingebracht und passiert (auf Fig. 1 übertragen) zunächst den Elektrodenbereich 32, dann den Elektrodenbereich 28 und zuletzt den Elektrodenbereich 26, bevor sie die Vorrichtung durch den Auslass verlässt.

Dadurch werden zunächst die Lagerrillenstrukturen 47 des fluiddynamischen Axiallagers in die Lagerbuchse 14 eingebracht (Elektrodenbereich 32) und erst dann die Lagerrillenstrukturen 45

des ersten Radiallagers und die Lagerrillenstrukturen 43 des zweiten Radiallagers (Elektrodenbereiche 28 und 26).

[0067] Im Elektrodenbereich 32 zum Einbringen der Lagerrillenstrukturen 47 des fluiddynamischen Axiallagers, welches relativ tiefe und breite Rillenstrukturen aufweist, wird sehr viel Material abgetragen und im Elektrolyt gelöst, sodass der Elektrolyt relativ stark verunreinigt wird und seine Wirksamkeit in den Elektrodenbereichen 28, 26 zur Herstellung der Lagerrillenstrukturen 45, 43 der Radiallager und insbesondere im Elektrodenbereich 26 nachlässt.

Dieser Nachteil wird durch die vorliegende Erfindung vermieden, indem die Elektrolytlösung dem Elektrolytspalt 21 nächstliegend zu denjenigen einzubringenden Lagerrillenstrukturen 43 zugeführt wird, für welche die größte Formgenauigkeit und Gleichförmigkeit gefordert ist.

[0068] Fig. 2 zeigt einen Schnitt durch eine bevorzugte Ausgestaltung eines Spindelmotors, der mit einer erfindungsgemäß bearbeiteten Lagerbuchse drehgelagert ist.

[0069] Der Spindelmotor umfasst eine feststehende Basisplatte 110 mit einer zylindrischen Öffnung, in welcher eine zylindrische Lagerhülse 112 befestigt ist. In der Lagerhülse 112 ist eine zylindrische Lagerbuchse 114 gehalten, die eine axiale zylindrische Lagerbohrung aufweist, in welcher eine Welle 116 drehbar um die Rotationsachse 144 aufgenommen ist. Zwischen dem Innendurchmesser der Lagerbohrung und dem etwas kleineren Außendurchmesser der Welle 116 verbleibt ein einige Mikrometer breiter Lagerspalt 120, der mit einem Lagerfluid, beispielsweise einem Schmieröl, gefüllt ist. Einander entsprechende Lagerflächen der Lagerbuchse 114 und der Welle 116 bilden zusammen ein erstes fluiddynamisches Radiallager 126 und ein zweites fluiddynamisches Radiallager 128, die durch entsprechende Lagerrillenstrukturen 126a, 128a gekennzeichnet sind. Die Lagerrillenstrukturen 126a, 128a sind auf der Oberfläche der Lagerbohrung und/oder der Oberfläche der Welle 116 angeordnet. Sobald sich die Welle 116 in der Lagerbuchse 114 dreht, üben die Radiallagerrillen 126a, 128a eine Pumpwirkung auf das in dem axial verlaufenden Abschnitt (120a) des Lagerspalts 120 befindliche Lagerfluid aus. Auf diese Weise entsteht im Lagerspalt 120 ein hydrodynamischer Druck, wobei sich ein homogener und gleichmäßig dicker Schmiermittelfilm innerhalb des Lagerspalts 120 ausbildet, der die Radiallager 126, 128 tragfähig macht. Solange sich die Welle 116 in der Lagerbohrung dreht, wird die Welle 116 durch den durch die Radiallagerrillen 126a, 128a erzeugten fluiddynamischen Druck stabilisiert und läuft berührungslos in der Lagerbohrung nur getrennt durch den Lagerspalt 120. Die beiden Radiallager 126, 128 sind durch einen Bereich mit vergrößerter Lagerspaltbreite, dem sogenannten Separatorspalt 130, axial voneinander getrennt.

[0070] Die Lagerrillenstrukturen 126a, 128a der beiden fluiddynamischen Radiallager 126, 128 können sinus-, fischgräten- oder chevronförmig sein und sind vorzugsweise auf der Oberfläche der Lagerbohrung der Lagerbuchse 114 angeordnet, während die Oberfläche der Welle 116 vorzugsweise nicht strukturiert ist. Um eine entsprechende Pumpwirkung zu erzeugen, dreht sich die Welle 116 in der strukturierten Lagerbuchse 114 in der Regel im Gegenuhrzeigersinn.

[0071] Die Lagerrillenstrukturen 126a des ersten Radiallagers 126 sind beispielsweise sinusförmig ausgebildet und vorzugsweise asymmetrisch geformt. Dadurch erzeugen sie keine gleichmäßige Pumpwirkung auf das Lagerfluid in beide Richtungen des axial verlaufenden Abschnitts 120a des Lagerspalts 120, sondern eine gerichtete Pumpwirkung, die das Lagerfluid überwiegend nach unten in Richtung des zweiten Radiallagers 128 fördert.

[0072] Das zweite Radiallager 128 umfasst beispielsweise ebenfalls sinusförmige Lagerrillenstrukturen 128a, die vorzugsweise symmetrisch ausgebildet sind, sodass das zweite Radiallager 128 eine gleichmäßige Pumpwirkung auf das Lagerfluid in beide Richtungen des axial verlaufenden Abschnitts 120a des Lagerspalts 120 erzeugt. Durch den Einfluss des ersten Radiallagers 126 ist eine Druckrichtung bzw. Fließrichtung des Lagerfluids im Lagerspalt 120 nach unten in das Lagerinnere gegeben.

[0073] An einem Ende der Welle 116 ist eine Druckplatte 122 angeordnet, die auf die Welle 116 aufgepresst oder alternativ einteilig mit der Welle 116 ausgebildet ist. Die Druckplatte ist drehbar in einem Zwischenraum aufgenommen, der durch die Lagerhülse 112, die Lagerbuchse 114 und

eine Abdeckplatte 124 gebildet ist, wobei die Abdeckplatte 124 die untere Öffnung der Lagerhülse 112 verschließt. Die Abdeckplatte 124 ist in einer entsprechenden Senkung der Lagerhülse 112 konzentrisch zur Lagerbohrung aufgenommen.

[0074] Die beiden Stirnseiten der Druckplatte 122 bilden zusammen mit der jeweils gegenüberliegenden Stirnfläche der Lagerbuchse 114 bzw. der Stirnfläche der Abdeckplatte 124 ein erstes fluiddynamisches Axiallager 132 und ein zweites fluiddynamisches Axiallager 134 aus. Die Lagerflächen der fluiddynamischen Axiallager 132, 134 sind jeweils durch entsprechend radial verlaufende Abschnitte 120b, 120c des Lagerspalts 120 voneinander getrennt. Die radial verlaufenden Abschnitte 120b, 120c des Lagerspalts 120 sind mit Lagerfluid gefüllt und mit dem axial verlaufenden Abschnitt 120a des Lagerspalts verbunden.

[0075] Die beiden Axiallager 132, 134 sind durch Axiallagerrillenstrukturen (symbolisch dargestellt) gekennzeichnet, die auf den Lagerflächen der Druckplatte 122 oder der Lagerbuchse 114 beziehungsweise der Abdeckplatte 124 angeordnet sind. Die Axiallagerrillenstrukturen sind vorzugsweise spirallinienförmig und/oder fischgrätenförmig ausgebildet. Es wird hierbei bevorzugt, wenn die Axiallagerrillenstrukturen der Axiallager 132, 134 jeweils eine gleichmäßige Pumpwirkung in beide Richtungen der radial verlaufenden Abschnitte 120b, 120c des Lagerspalts 120 erzeugen.

[0076] Sobald die Welle 116 zusammen mit der Druckplatte 122 in Rotation versetzt wird, baut sich aufgrund der Axiallagerrillen auf den Axiallagerflächen ein hydrodynamischer Druck in den radial verlaufenden Abschnitten 120b, 120c des Lagerspalts 120 auf, sodass die Axiallager 132, 134 tragfähig werden und die Druckplatte 122 durch den hydrodynamischen Druck vorzugsweise axial mittig in der vorgesehenen Aussparung positioniert wird.

[0077] Ein oberes offenes Ende des Lagerspalts 120 ist durch eine Dichtung, beispielsweise einen kapillaren Dichtungsspalt 136, abgedichtet. Der Dichtungsspalt 136 wird gebildet durch eine äußere Umfangsfläche der Welle 116 und eine innere Umfangsfläche der Lagerbuchse 114. Die innere Umfangsfläche der Lagerbuchse 114 ist vorzugsweise abgeschrägt, sodass der Dichtungsspalt 136 einen im Wesentlichen konischen Querschnitt aufweist. Der Dichtungsspalt 136 ist unmittelbar mit dem Lagerspalt 120 verbunden und anteilig mit Lagerfluid gefüllt.

[0078] Das obere freie Ende der Welle 116 ist mit einer Nabe 118 verbunden. Die Nabe 118 ist entsprechend dem Zweck des Spindelmotors ausgebildet. Ist der Spindelmotor als Antrieb in ein Festplattenlaufwerk eingebaut, sind auf der Nabe 118 beispielsweise eine oder mehrere Speicherplatten des Festplattenlaufwerks angeordnet und durch Abstandhalter axial voneinander getrennt (zeichnerisch nicht dargestellt). Die Befestigung der Speicherplatten erfolgt beispielsweise mittels einer Klammer, die durch Schrauben befestigt ist und die Speicherplatten auf die Nabe 118 presst.

[0079] An einem inneren unteren Rand der Nabe 118 ist ein ringförmiger Rotormagnet 142 mit einer Mehrzahl von Polpaaren angeordnet. Der Rotormagnet 142 liegt an einem Rückschlussring 140 an. Radial gegenüberliegend des Rotormagneten 142 ist an der Basisplatte 110 eine Statoranordnung 138 befestigt, die durch einen radialen Luftspalt von dem Rotormagneten 142 getrennt ist. Die Statoranordnung 138 weist entsprechende Statorwicklungen auf, die entsprechend mit Strom versorgt ein elektrisches Wechselfeld erzeugen, sodass das rotierende Motorbauteil in Drehung versetzt wird. Der elektrische Anschluss der Statorwicklungen erfolgt beispielsweise an einer Leiterplatte 146, die vorzugsweise an der Basisplatte 110 angeordnet ist.

[0080] Das rotierende Motorbauteil besteht aus der rotierenden Welle 116, der mit der Welle 116 verbundenen Nabe 118, dem Rotormagneten 142 und dem Rückschlussring 140. Das feststehende Motorbauteil wird durch die Basisplatte 110, die Hülse 112, die Lagerbuchse 114, die Abdeckplatte 124 und die Statoranordnung 138 gebildet.

[0081] Bei einem Spindelmotor zum Antrieb eines 3,5-Zoll-Festplattenlaufwerks für Serveranwendungen beträgt der Durchmesser der Welle beispielsweise 3,5 mm bis 4 mm und der Durchmesser der Nabe beispielsweise 30 mm bis 36 mm.

[0082] Der Spindelmotor mitsamt den Komponenten des Festplattenlaufwerks ist vorzugsweise in einem geschlossenen Gehäuse angeordnet. Dieses geschlossene Gehäuse kann vorzugsweise mit einem Gas mit geringem Molekulargewicht, beispielsweise Helium, gefüllt sein. Im Gehäuse kann gegenüber der umgebenden Atmosphäre ein leichter Unterdruck herrschen.

[0083] Die übliche Spaltbreite der Radiallager 120 betragen beispielsweise 1,5 bis 4 Mikrometer, während die Spaltbreiten der Axiallagerspalte 120b, 120c üblicherweise jeweils beispielsweise mehr als 5 Mikrometer betragen, bevorzugt jeweils 9 Mikrometer. Die Gesamtsumme der beiden Axiallagerspalte 120b, 120c ist konstant und beträgt demnach beispielsweise 18 Mikrometer.

[0084] Daher ist für das in Fig. 2 beschriebene fluiddynamische Lager bei der Fertigung der Lagerbuchse 114 mittels dem ECM-Verfahren vorteilhaft der Einlass 19 für die Elektrolytlösung nächstliegend zu denjenigen einzubringenden Oberflächenstrukturen angeordnet ist, für welche die größte Formgenauigkeit und Gleichförmigkeit gefordert ist. Dies ist in der hier beschriebenen Lagerversion der Axiallagerspalte 120 mit den Radiallagern 128 und 126.

[0085] Eine weitere Ausführungsform eines fluiddynamischen Lagers vom Typ STT ist beispielsweise in der DE 10 2007 036 790 A1 beschrieben.

[0086] Fig. 3 zeigt ein typisches Messergebnis für die Tiefe der in das Lagerbauteil 14 eingebrachten Rillenstrukturen gemäß dem Stand der Technik. Es ist die Tiefe der Rillenstrukturen 43 dargestellt, die durch die äußeren Elektrodenbereiche 26 der ECM-Elektrode eingebracht wurden. Die Fließrichtung der Elektrolytlösung war von links nach rechts, das heißt die Elektrolytlösung hat die Rillenstrukturen 43 von links nach rechts passiert. Man erkennt, dass in Fließrichtung des Elektrolyten, d. h., von links nach rechts, die radiale Tiefe der Rillenstrukturen von Rille zu Rille abnimmt. Die Abnahme der Tiefe der Rillenstrukturen in Fließrichtung der Elektrolytlösung ist sehr deutlich zu sehen.

[0087] Die Tiefe der Rillenstrukturen entspricht der radialen Position in Mikrometer, wobei die Position 0 der Oberfläche des Werkstücks, d. h. der Lagerbuchse 14 entspricht und die Rillen etwa eine Tiefe zwischen vier und sechs Mikrometern aufweisen, sich also von der Oberfläche der Lagerbuchse 14 nach unten erstrecken.

[0088] Fig. 4 zeigt eine Messung der Rillentiefe der Lagerrillenstrukturen 43 eines Radiallagers, das nach dem Gegenstand der Erfindung hergestellt wurde. Hierbei war die Fließrichtung des Elektrolyten umgekehrt wie in Fig. 2, d. h. der Elektrolyt floss von rechts nach links über die Lagerrillenstrukturen.

[0089] Man erkennt hier, dass die Tiefe der einzelnen Rillen der Rillenstrukturen des Radiallagers sehr gleichmäßig ist und bei allen Rillen etwa 6,5 Mikrometer beträgt. Die Rillenstrukturen sind somit sehr viel gleichmäßiger als im Beispiel von Fig. 2.

[0090] Fig. 5 zeigt Messwerte der Oberflächenerosion im Bereich der Rillenstrukturen 43 des äußeren Radiallagers in Mikrometern für verschiedene Lagerbuchsen 14, Bearbeitungszustände und Werkstoffe. Es wurden jeweils mehrere Messungen an mehreren Lagerbuchsen 14 durchgeführt.

[0091] Die Messwerte in Fig. 5 links zeigen die Messungen für eine Lagerbuchse 14 aus Stahl, während die Messwerte in Fig. 5 rechts die Messwerte für eine Lagerbuchse 14 aus Messing zeigen.

[0092] Bei einer Lagerbuchse 14 aus Stahl zeigt sich vor der elektrochemischen Bearbeitung eine durchschnittliche Oberflächenerosion von 0,04 Mikrometern, was etwa der Oberflächengradheit entspricht.

[0093] Nach der ECM-Bearbeitung mit einem Verfahren gemäß dem Stand der Technik zeigt sich eine durchschnittliche Oberflächenerosion von 0,06 Mikrometern, wohingegen die ursprüngliche Oberflächenerosion 0,04 Mikrometer war. Insgesamt ist die Oberflächenerosion bei Stahl durch ECM-Bearbeitung sehr gering.

[0094] Gemäß der Erfindung und bei einer Umkehrung der Fließrichtung des Elektrolyten zeigt

sich bei Stahl eine durchschnittliche Oberflächenerosion von 0,08 Mikrometern, d. h. vergleichbar mit dem Wert nach dem Stand der Technik.

[0095] Bei einer Lagerbuchse aus Messing zeigen sich deutlich abweichende Werte.

[0096] Der Wert der Oberflächenerosion bzw. Oberflächengeradheit bei einer Lagerbuchse 14 aus Messing direkt nach der Fertigung und vor der ECM- Bearbeitung beträgt durchschnittlich 0,03 Mikrometer.

[0097] Nach der Bearbeitung der Lagerbuchse mit einem ECM-Verfahren gemäß dem Stand der Technik ergibt sich eine deutlich durchschnittliche Oberflächenerosion von 0,27 Mikrometern, d. h. etwa um den Faktor 10 größer als die ursprüngliche Oberflächengeradheit.

[0098] Durch eine Umkehrung der Fließrichtung des Elektrolyten gemäß der Erfindung kann die durchschnittliche Oberflächenerosion auf 0,08 Mikrometer verringert werden, d. h. vergleichbar mit dem Wert der Stahlbuchse.

[0099] Die mit USL (Upper Specification Limit) bezeichnete gestrichelte Linie zeigt den oberen Grenzwert für die Oberflächenerosion, der beispielsweise bei 0,4 Mikrometern liegt und bei allen gezeigten Messwerten erfüllt ist.

[00100] Fig. 6 zeigt dasselbe Diagramm wie in Fig. 5, jedoch in Form einer Kastengrafik (Box-plot).

[00101] Eine Kastengrafik veranschaulicht die wichtigsten statistischen Größen der jeweiligen Messwerte. Z. B. gibt der Zahlenwert den Mittelwert der Messwerte an, die obere Fläche des Kastens das obere Quartil, die untere Fläche das untere Quartil und die jeweiligen Antennen, die von der oberen und unteren Fläche des Kastens abragen, jeweils den größten und kleinsten Wert der einzelnen Messwerte. Innerhalb des Kastens befinden sich die mittleren 50 % der Messwerte.

[00102] Fig. 7 zeigt eine Kastengrafik der Rillentiefe der Lagerrillenstrukturen 43 des äußeren Radiallagers im Apex.

[00103] Man erkennt, dass bei einer Lagerbuchse 14 aus Stahl beim bisherigen ECM- Verfahren eine durchschnittliche Rillentiefe von 5,6 Mikrometer erreicht wurde und beim erfindungsgemäßen Verfahren mit umgekehrter Fließrichtung des Elektrolyten eine durchschnittliche Rillentiefe von 7,5 Mikrometer.

[00104] Bei einer Lagerbuchse aus Messing auf der rechten Seite der Grafik bleibt die Rillentiefe im Wesentlichen konstant bei durchschnittlich 7,1 bzw. 7,2 Mikrometer, unabhängig von der Fließrichtung des Elektrolyten. Bei umgekehrter Fließrichtung des Elektrolyten gemäß der Erfindung variiert die Rillentiefe jedoch weniger.

[00105] Fig. 8 zeigt eine Kastengrafik die Breite der Lagerrillenstrukturen 43 des äußeren Radiallagers im Apex, wobei die Rillenbreite bei einer Lagerbuchse 14 aus Stahl bei einem ECM-Verfahren gemäß dem Stand der Technik durchschnittlich 147 Mikrometer beträgt. Bei einer Umkehr der Fließrichtung des Elektrolyten gemäß der Erfindung verringert sich die Breite der Lagerrillenstrukturen 43 auf durchschnittlich 144 Mikrometer. Die Rillenbreite bei einer Lagerbuchse 14 aus Messing ist auf Grund der größeren Oberflächenerosion von Messing etwas größer und beträgt beim bisherigen ECM-Verfahren gemäß dem Stand der Technik durchschnittlich 162 Mikrometer. Durch die umgekehrte Fließrichtung des Elektrolyten gemäß der Erfindung nähert sich die durchschnittliche Rillenbreite mit 154 Mikrometer an die Werte der Lagerbuchse aus Stahl an.

[00106] Zu der Fig. 7 und Fig. 8 ist zu sagen, dass sich die Rillentiefe insgesamt etwa in der Mitte des erlaubten Bereichs zwischen dem niedrigsten zulässigen Wert LSL und dem höchsten zulässigen Wert USL befindet.

Die Rillenbreite befindet sich bei Stahlbuchsen ebenfalls sehr genau in der Mitte zwischen LSL und USL. Bei Buchsen aus Messing befinden sich die Werte näher am oberen Wert USL, wobei sich durch die Erfindung der Wert verbessert und in Richtung LSL tendiert.

[00107] Fig. 9 zeigt als Kastengrafik Messwerte der Asymmetrie der Rillentiefe der Lagerrillenstrukturen 43 des äußeren Radiallagers. Es zeigt sich, dass sowohl bei einer Lagerbuchse aus

Stahl als auch aus Messing beim bisherigen Verfahren gemäß dem Stand der Technik eine deutliche Asymmetrie der Rillentiefe von durchschnittlich -0,67 Mikrometer bzw. -0,88 Mikrometer auftritt. Bei dem erfindungsgemäßen ECM-Verfahren mit umgekehrter Fließrichtung des Elektrolyten verbessert sich die durchschnittliche Asymmetrie der Rillentiefe des äußeren Radiallagers sowohl bei Stahlbuchsen als auch Messingbuchsen deutlich auf durchschnittlich -0,21 Mikrometer bzw. 0,07 Mikrometer und tendiert nach Null. Hierbei ist die Verringerung der Asymmetrie, d. h. eine Verbesserung der Symmetrie der Lagerrillenstrukturen 43 des äußeren Radiallagers bei Lagerbuchsen aus Messing deutlicher sichtbar, hat aber eine höhere Streuung als bei Lagerbuchsen aus Stahl.

[00108] Fig. 10 zeigt als Kastengrafik Messwerte der Asymmetrie der Rillenbreite der Lagerrillenstrukturen 43 des äußeren fluidodynamischen Radiallagers. Es zeigt sich, dass sowohl bei Stahlbuchsen als auch Messingbuchsen beim bisherigen ECM-Verfahren gemäß dem Stand der Technik eine deutliche Asymmetrie der Rillenbreite von durchschnittlich -16,61 Mikrometer bzw. -31,81 Mikrometer auftrat. Bei dem erfindungsgemäßen ECM-Verfahren mit umgekehrter Fließrichtung des Elektrolyten verbessert sich die durchschnittliche Asymmetrie der Rillenbreite der Lagerrillenstrukturen 43 des äußeren Radiallagers sowohl bei Stahlbuchsen als auch Messingbuchsen deutlich und beträgt durchschnittlich -3,18 Mikrometer bzw. 4,95 Mikrometer und tendiert somit gegen Null.

[00109] Fig. 11 zeigt eine Kastengrafik der Asymmetrie der Rillenquerschnittsfläche der Lagerrillenstrukturen 43 des äußeren Radiallagers, die relevant ist für die Höhe der Druckerzeugung, d. h., die Pumpstärke der Rillenstrukturen eines fluidodynamischen Lagers.

[00110] Für Stahlbuchsen als auch Messingbuchsen reduziert sich die durchschnittliche Asymmetrie des Rillenquerschnitts der Lagerrillenstrukturen 43 des äußeren Radiallagers beim erfindungsgemäßen Verfahren deutlich und tendiert gegen Null.

[00111] Insbesondere bei den Lagerbuchsen aus Messing wird auch die Streuung der einzelnen Messwerte deutlich reduziert.

[00112] Im Vergleich zu den Lagerrillenstrukturen 43 des äußeren fluidodynamischen Radiallagers werden nun die Lagerrillenstrukturen 45 des inneren fluidodynamischen Radiallagers betrachtet.

[00113] Fig. 12 zeigt die mittlere Rillentiefe der Lagerrillenstrukturen 45 dieses inneren fluidodynamischen Radiallagers, das sich zwischen dem äußeren Radiallager und dem Axiallager befindet.

[00114] Man erkennt, dass die mittlere Rillentiefe der Lagerrillenstrukturen 45 des inneren Radiallagers sich bei einem ECM-Verfahren gemäß dem Stand der Technik für Stahlbuchsen nahe am unteren Grenzwert LSL befindet, während er sich bei Messingbuchsen in der Mitte zwischen dem unteren Grenzwert LSL und dem oberen Grenzwert USL befindet.

[00115] Beim erfindungsgemäßen Verfahren mit umgekehrter Fließrichtung des Elektrolyten sind die Messwerte sehr gut zwischen dem unteren und oberen Grenzwert zentriert.

[00116] Fig. 13 zeigt die Rillenbreite der Lagerrillenstrukturen 45 des inneren Radiallagers, die materialspezifisch für Messing auf Grund der größeren Erosion etwas größer ist als bei Stahl, aber bei beiden Verfahren sehr gut zwischen dem unteren LSL und oberen Grenzwert USL liegen.

[00117] Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Oberflächenerosion im Bereich der Lagerrillenstrukturen 43 des äußeren Radiallagers insgesamt sehr klein ist und das erfindungsgemäße Verfahren, insbesondere für Messingbuchsen, eine große Verbesserung der Geometrie der Lagerrillenstrukturen 43 bedeutet.

[00118] Die Asymmetrie der Tiefe und Breite, insbesondere der Lagerrillenstrukturen 43 des äußeren Radiallagers, kann durch das erfindungsgemäße Verfahren signifikant reduziert werden, insbesondere für Lagerbuchsen 14 aus Messing.

[00119] Bei den Lagerrillenstrukturen 45 des inneren Radiallagers zeigt sich, dass es im Ver-

gleich zum Stand der Technik beim erfindungsgemäßen Verfahren zu keiner Verschlechterung der Rillengeometrie der Lagerrillenstrukturen 45 des inneren Radiallagers kommt.

[00120] Das erfindungsgemäße Verfahren hat somit keine negativen Seiteneffekte, sondern nur positive, insbesondere die Reduzierung der Oberflächenerosion und der Asymmetrie der Rillentiefe und Rillenbreite der Lagerrillenstrukturen 43, 45 der beiden Radiallager, insbesondere bei Lagerbuchsen aus Messing.

LISTE DER BEZUGSZEICHEN

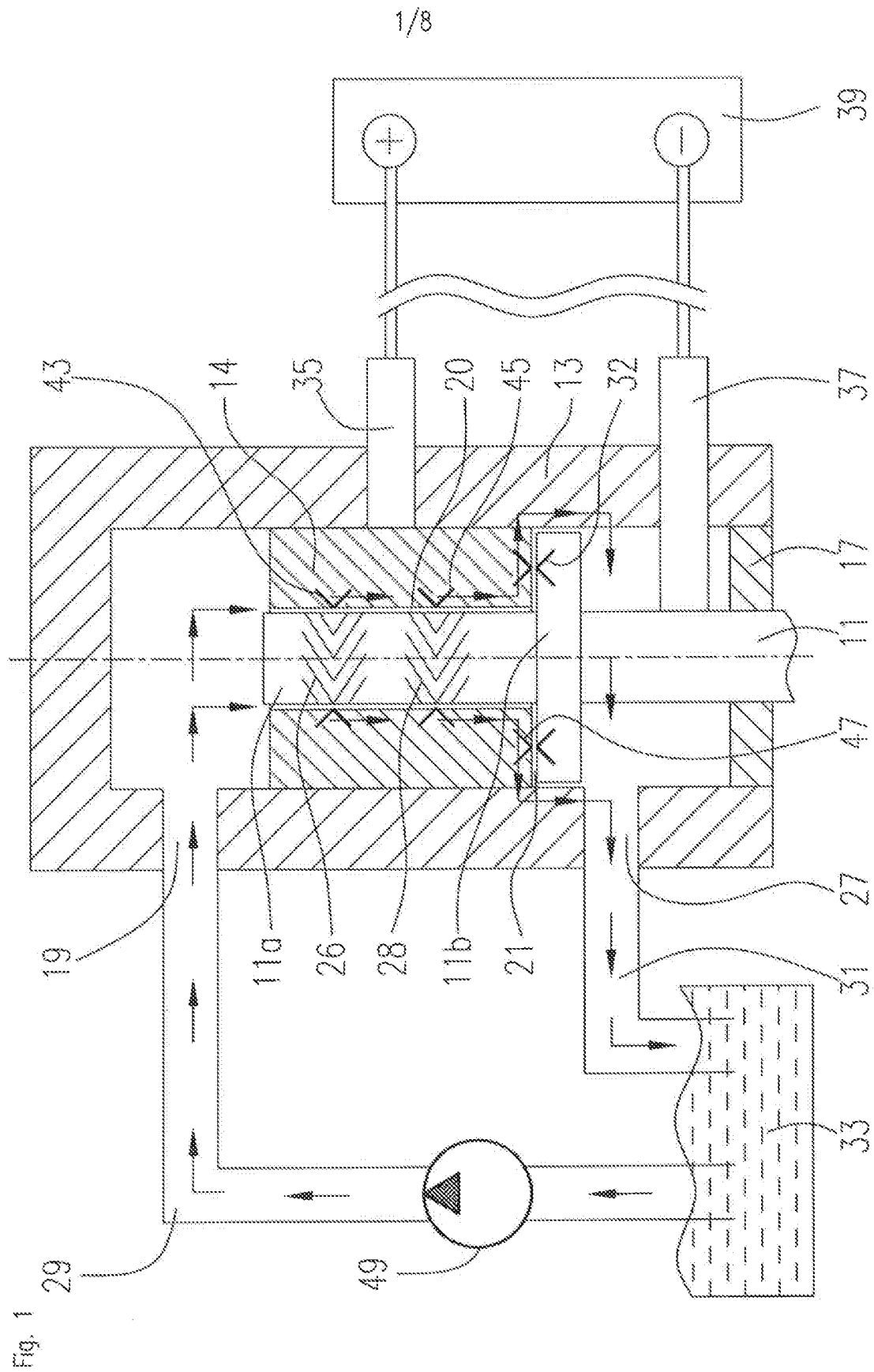
11	ECM-Elektrode
11a, 11b	Abschnitt
13	Kammer
14	Lagerbuchse
17	Haltevorrichtung
19	Einlass für Elektrolyt
21	Elektrolytspalt
26	elektrochemisch wirksame Bereiche
27	Auslass für Elektrolyt
28	elektrochemisch wirksame Bereiche
29	Zuleitung
31	Ableitung
32	elektrochemisch wirksame Bereiche
33	Elektrolytbehälter
35	Anode
37	Kathode
39	Spannungsquelle
43	Lagerrillenstrukturen Radiallager
45	Lagerrillenstrukturen Radiallager
47	Lagerrillenstrukturen Axiallager
49	Fluidpumpe
110	Basisplatte
112	Lagerhülse
114	Lagerbuchse
116	Welle
118	Nabe
120	Lagerspalt
120a	axial verlaufender Abschnitt des Lagerspalts
120b	erster Axiallagerspalt
120c	zweiter Axiallagerspalt
121	Ruhezone
122	Druckplatte
124	Abdeckplatte
126	erstes Radiallager
126a	Radiallagerrippen
128	zweites Radiallager

128a	Radiallagerrillen
130	Separatorspalt
132	erstes Axiallager
132a	Axiallagerrillen
134	zweites Axiallager
134a	Axiallagerrillen
136	Dichtungsspalt
138	Statoranordnung
140	Rückschlussring
142	Rotormagnet
144	Drehachse
146	Leiterplatte
148	ferromagnetischer Ring
150	Lagerfläche
152	Lagerfläche
154	Apexlinie
USL	oberer Grenzwert (upper specification limit)
LSL	unterer Grenzwert (lower specification limit)

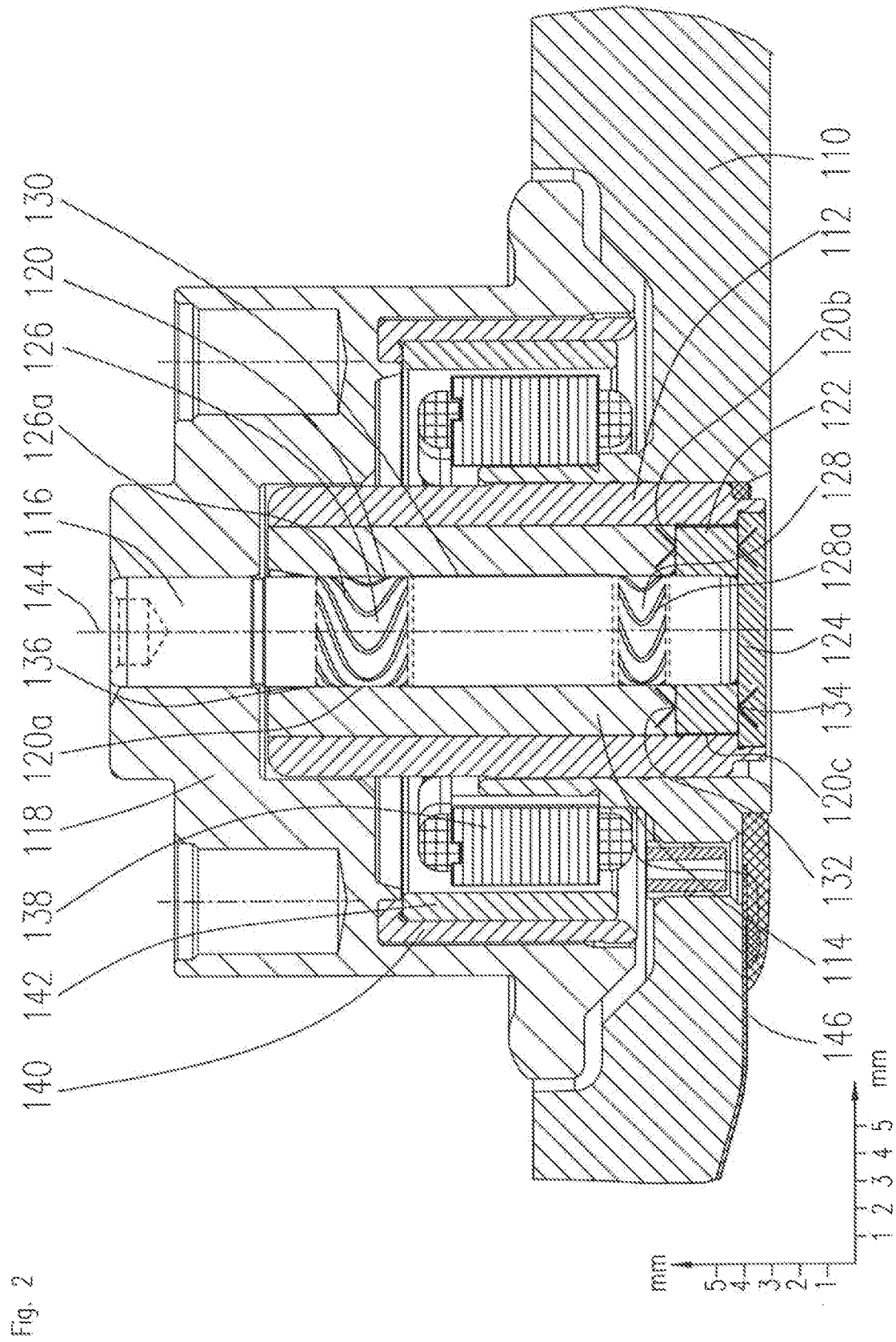
Patentansprüche

1. Vorrichtung zur elektrochemischen Bearbeitung einer Lagerbuchse (14, 114) eines fluiddynamischen Lagers, wobei mittels einer Elektrode (11) durch Materialabtrag Lagerrillenstrukturen (43, 45, 47, 126a, 128a, 132a, 134a) in mindestens eine Oberfläche der Lagerbuchse (14, 114) eingebracht werden, indem die Elektrode (11), getrennt durch einen Elektrolytspalt (21), gegenüberliegend der Oberfläche der Lagerbuchse (14, 114) angeordnet wird, wobei der Elektrolytspalt (21) von einer Elektrolytlösung durchströmt ist und einen Einlass (19) und einen Auslass (27) für die Elektrolytlösung aufweist, wobei in der Lagerbuchse (14, 114) entlang eines radial verlaufenden Lagerabschnitts ein Axiallager (47, 132) angeordnet ist, das Axiallagerrillen (47, 132a) aufweist, und entlang eines axial verlaufenden Lagerabschnitts (11a, 120a) mindestens zwei Radiallager (126, 128) angeordnet sind, die jeweils Radiallagerstrukturen (43, 45, 126a, 128a) aufweisen,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Einlass (19) für die Elektrolytlösung auf derjenigen Seite der Lagerbuchse (14, 114) angeordnet ist, welche dem Axiallager (47, 132) gegenüberliegt.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,** dass das metallische Werkstück (14, 114) aus einer Messinglegierung besteht.
3. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Oberflächenstrukturen eine Tiefe von einigen Mikrometer bis einigen Zehn Mikrometer aufweisen.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Oberflächenstrukturen eine Breite von einigen Zehn Mikrometer bis einigen Hundert Mikrometer aufweisen.
5. Verfahren zur elektrochemischen Bearbeitung einer Lagerbuchse (14, 114) eines fluiddynamischen Lagers, wobei mittels einer Elektrode (11) durch Materialabtrag Lagerrillenstrukturen (43, 45, 47, 126a, 128a, 132a, 134a) in mindestens eine Oberfläche der Lagerbuchse (14, 114) eingebracht werden, indem die Elektrode (11), getrennt durch einen Elektrolytspalt (21), gegenüberliegend der Oberfläche der Lagerbuchse (14, 114) angeordnet wird, wobei der Elektrolytspalt (21) von einer Elektrolytlösung durchströmt ist und einen Einlass (19) und einen Auslass (24) für die Elektrolytlösung aufweist, wobei in der Lagerbuchse (14, 114) entlang eines radial verlaufenden Lagerabschnitts ein Axiallager (47, 132) angeordnet ist, das Axiallagerrillen (47, 132a) aufweist, und entlang eines axial verlaufenden Lagerabschnitts (11a, 120a) mindestens zwei Radiallager (126, 128) angeordnet sind, die jeweils Radiallagerstrukturen (43, 45, 126a, 128a) aufweisen,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Elektrolytlösung dem Elektrolytspalt (21) nächstliegend zu denjenigen Seite der Lagerbuchse (14, 114) angeordnet ist, welche dem Axiallager (47, 132) gegenüberliegt.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet,** dass in einem Arbeitsgang Lagerrillenstrukturen (43, 45, 47, 126a, 128a, 132a, 134a) des fluiddynamischen Axiallagers (47, 132) und der fluiddynamischen Radiallager (126, 128) eingebracht werden.

Hierzu 8 Blatt Zeichnungen



2/8



3/8

Fig. 3

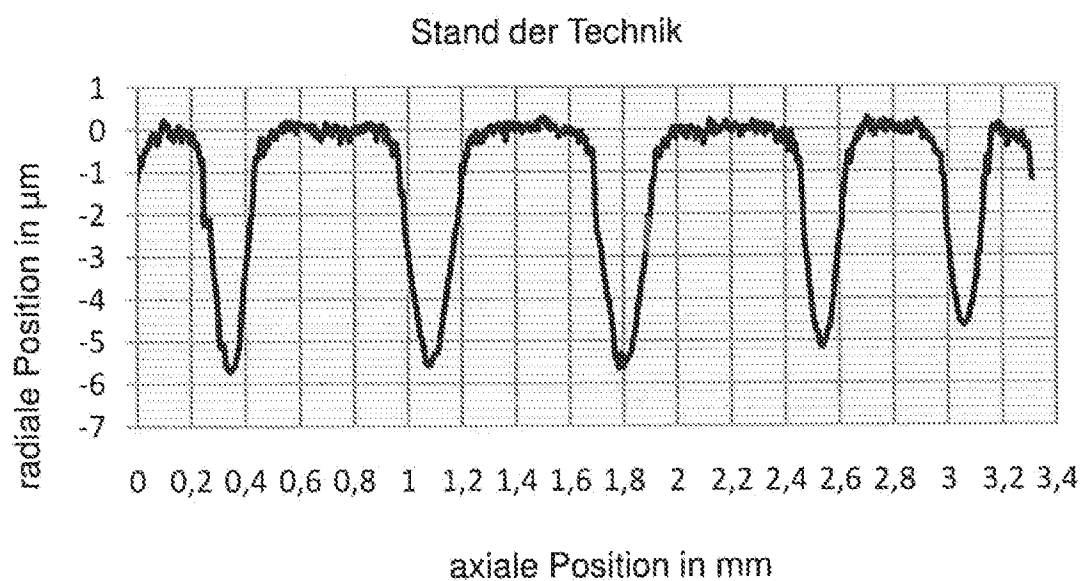
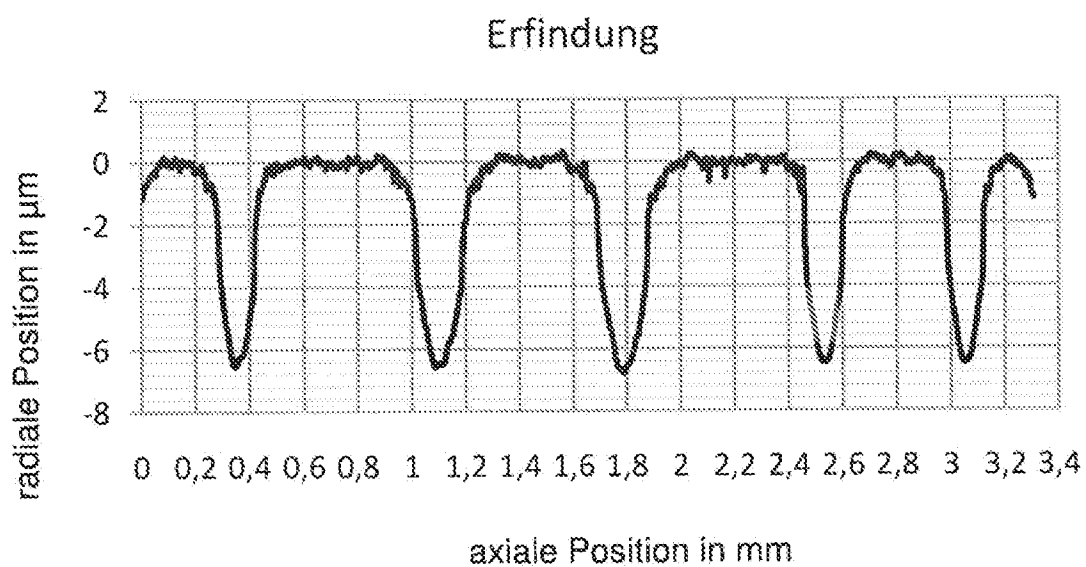
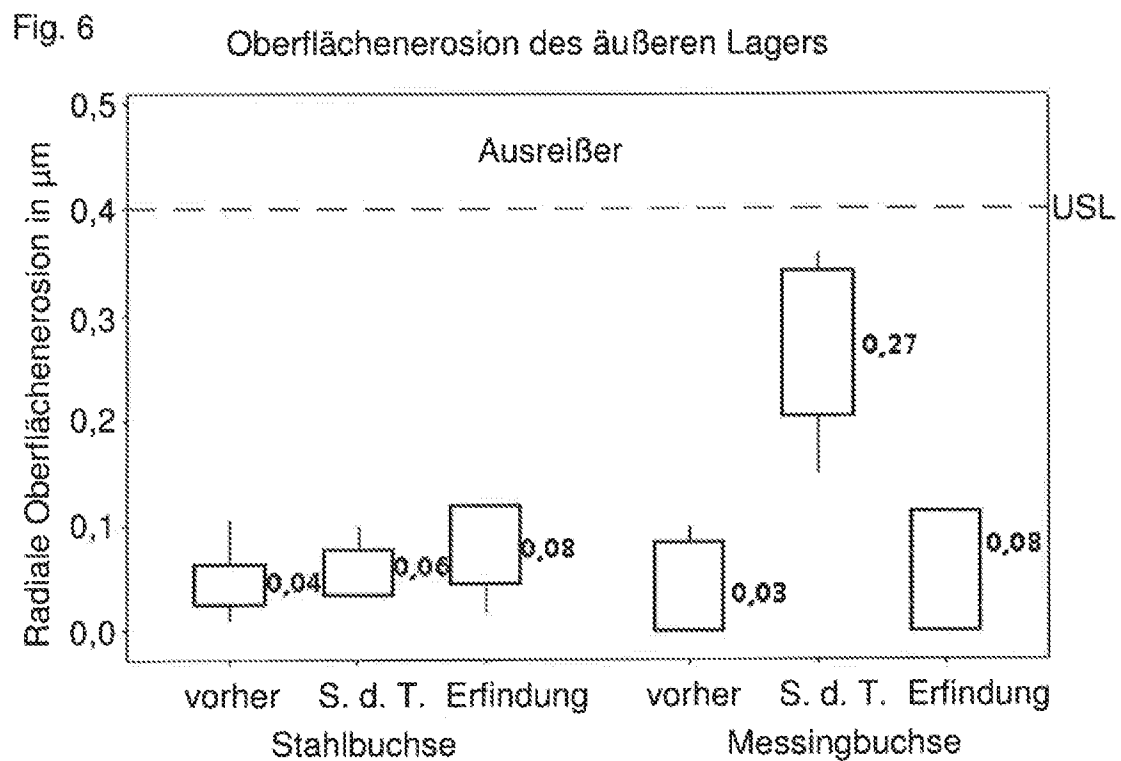
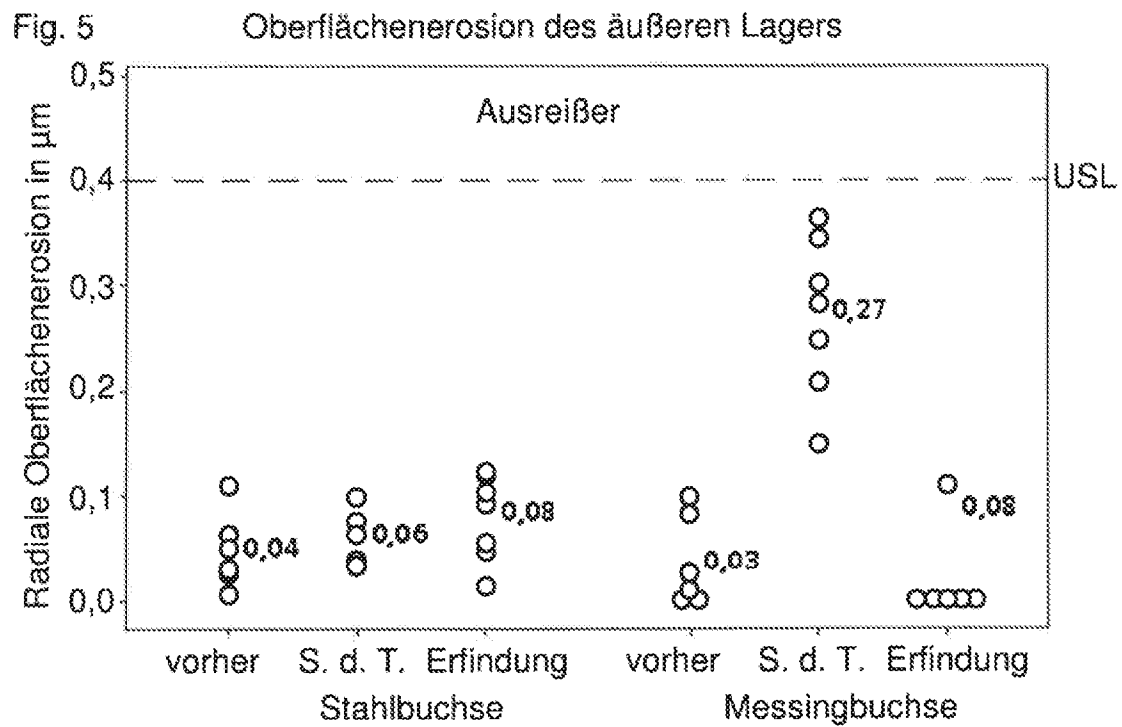


Fig. 4



4/8



5/8

Fig. 7

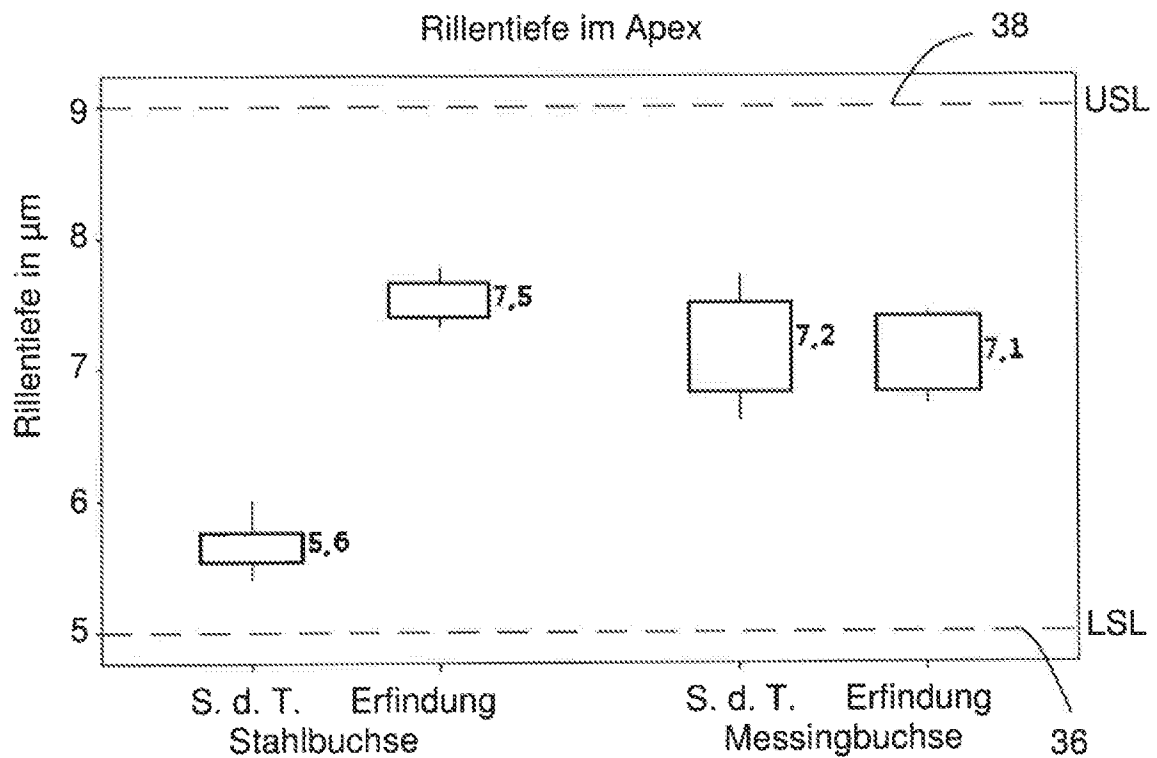
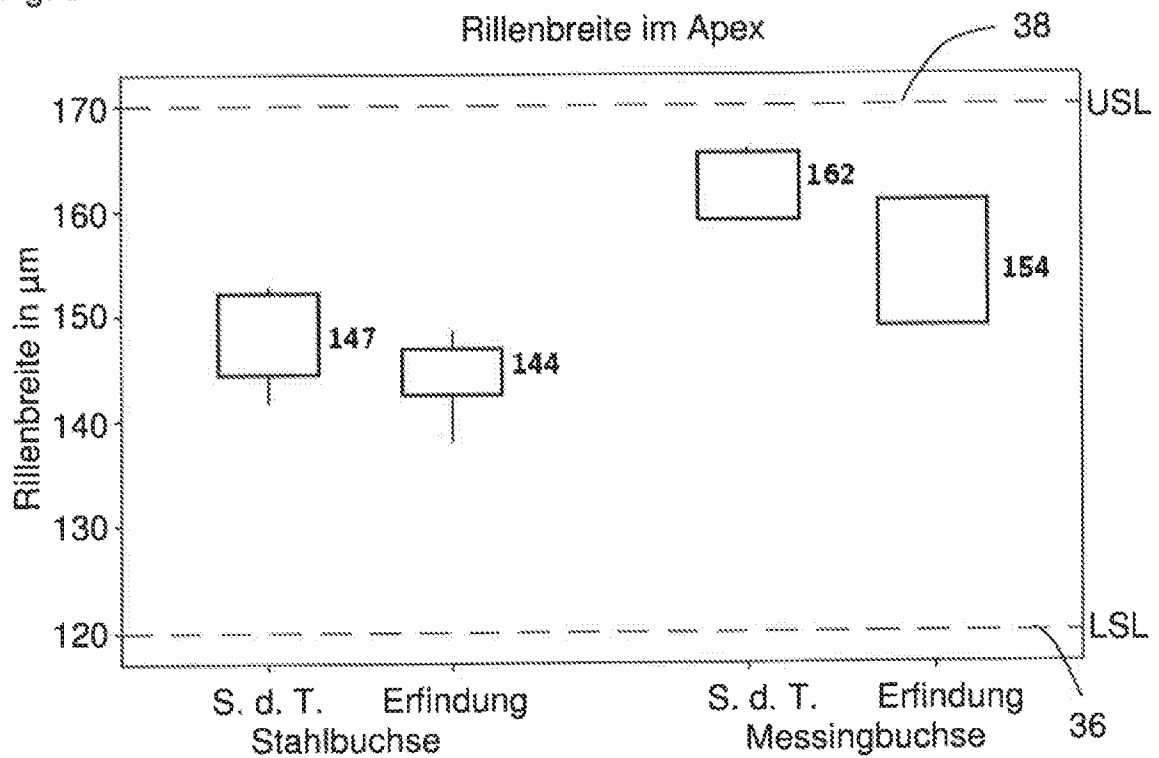


Fig. 8



6/8

Fig. 9

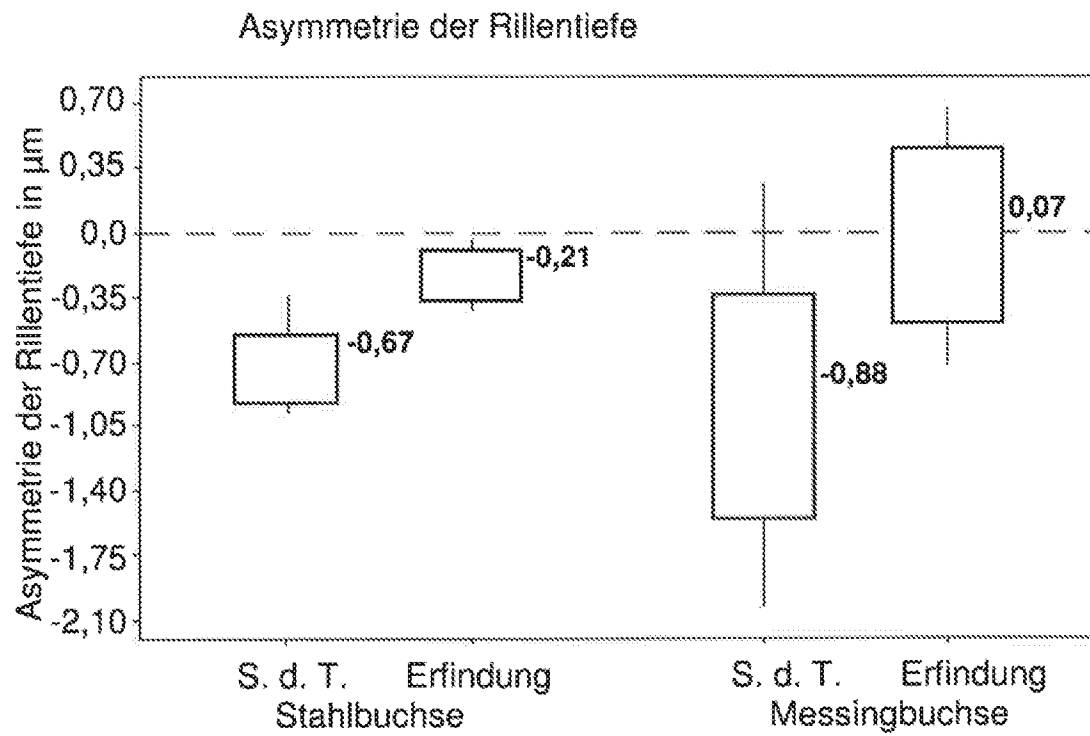
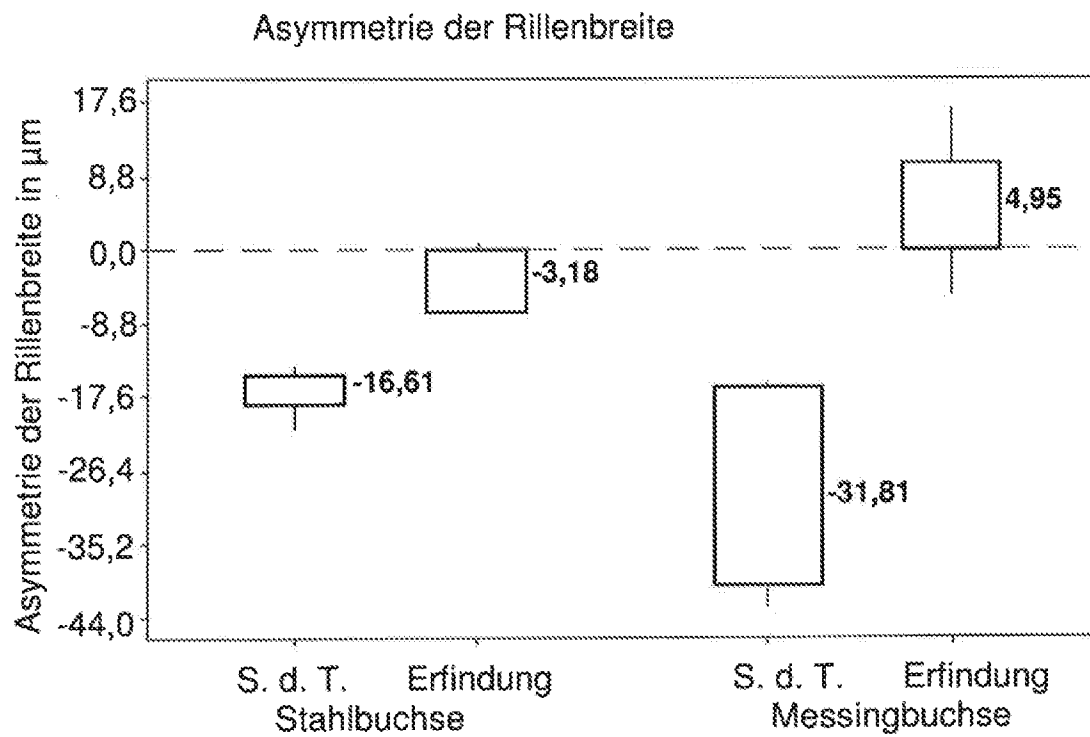


Fig. 10



7/8

Fig. 11

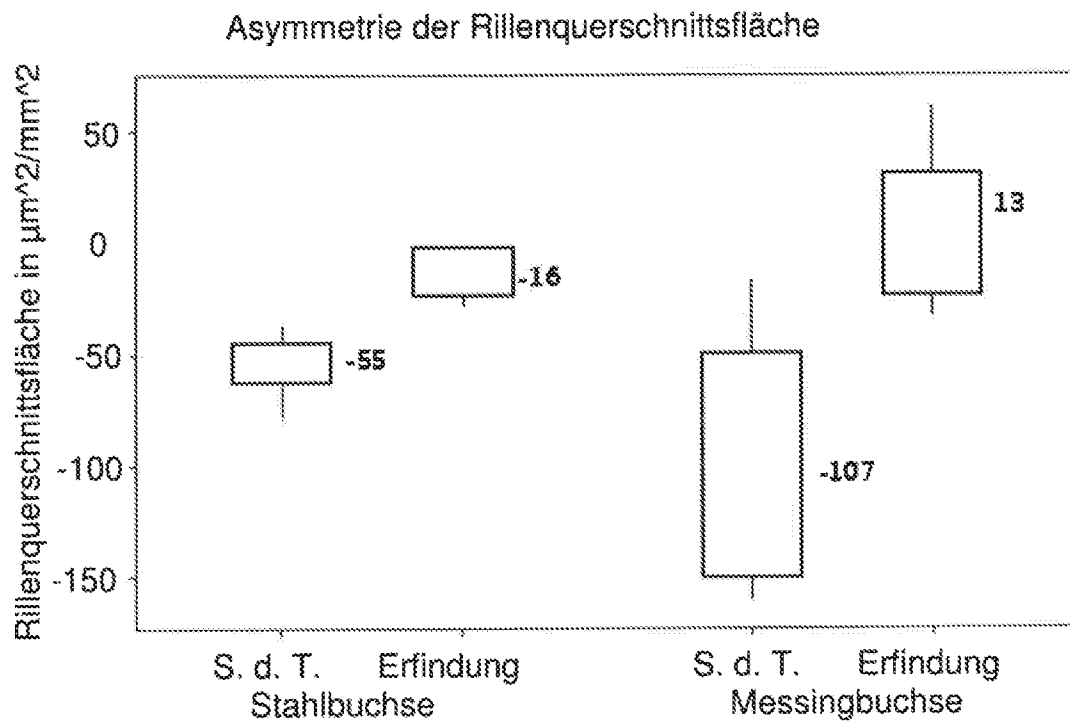
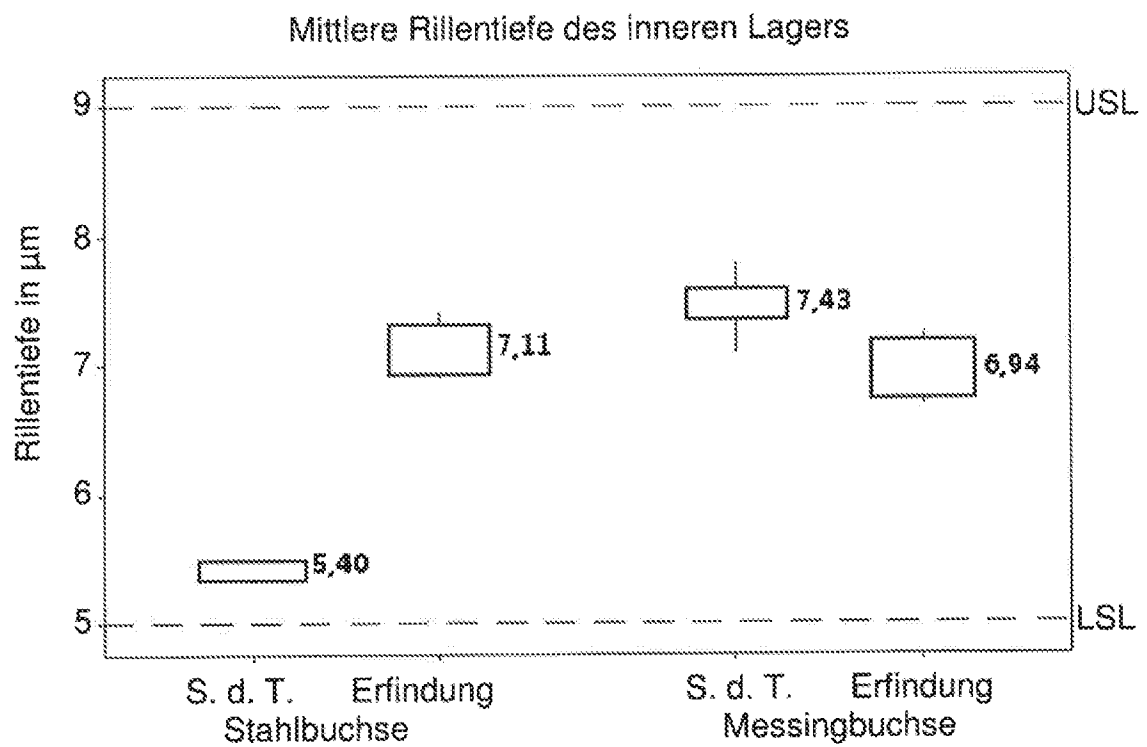


Fig. 12



8/8

Fig. 13

