



(10) **AT 514202 B1 2014-11-15**

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 471/2013
 (22) Anmeldetag: 11.06.2013
 (45) Veröffentlicht am: 15.11.2014

(51) Int. Cl.: **C25D 7/10** (2006.01)
C25D 3/12 (2006.01)
C25D 1/10 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
 US 2008090739 A1
 US 2008199767 A1
 JP H05149326 A
 JP 2001241431 A
 JP 2007146277 A

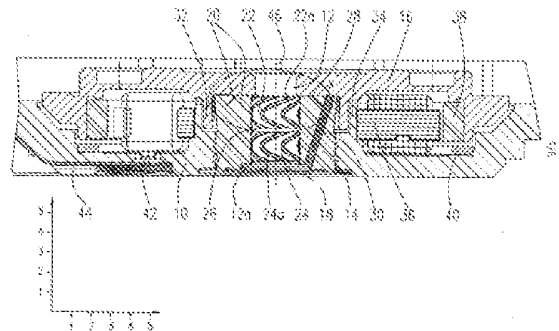
(73) Patentinhaber:
 MINEBEA CO., LTD.
 NAGANO-KEN (JP)
 (72) Erfinder:
 Bauer Martin Dr.
 78052 Villingen-Schwenningen (DE)

(74) Vertreter:
 GIBLER & POTH PATENTANWÄLTE OG
 WIEN

(54) Verfahren zur elektro-chemischen Bearbeitung eines metallischen Bauteils

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur elektro-chemischen Bearbeitung eines metallischen Bauteils(14), mit den Schritten:
 Beschichten des Bauteils (14) mit einer chemischen Nickelbeschichtung (48) mit einer Schichtdicke d,
 Einbringen von Strukturen (22a) in die Oberfläche des Bauteils (14) mittels elektrochemischer Abtragung, wobei die Strukturen (22a) eine Gesamttiefe T aufweisen, die größer gewählt ist, als die Schichtdicke d der Nickelbeschichtung (48).

Fig. 1



Beschreibung

VERFAHREN ZUR ELEKTRO-CHEMISCHEN BEARBEITUNG EINES METALLISCHEN BAUTEILS

GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur elektro-chemischen Bearbeitung eines metallischen Bauteils, insbesondere zur elektro-chemischen Bearbeitung von metallischen Bauteilen eines fluiddynamischen Lagersystems.

STAND DER TECHNIK

[0002] Bei der Bearbeitung von metallischen Bauteilen, beispielsweise metallischen Bauteilen von fluiddynamischen Lagersystemen ist es bekannt, Verfahren der elektro-chemischen Abtragung zu verwenden, beispielsweise zum Einbringen von Lagerrillenstrukturen, zur Entgratung von Bohrungen oder zur Herstellung anderer Strukturen in der Oberfläche der Bauteile.

[0003] Bei fluiddynamischen Lagersystemen, wie sie in Spindelmotoren zum Antrieb von Festplattenlaufwerken eingesetzt werden, ist das Schwingungsverhalten, insbesondere die Resonanzfrequenz im höheren Frequenzbereich von einigen Kilohertz, typischerweise von mehr als einem Kilohertz, von besonderer Bedeutung für die Beurteilung der Lagereigenschaften.

[0004] Die Resonanzfrequenz muss so abgestimmt sein bzw. deren Amplitude muss ausreichend gering sein, dass der Betrieb des Festplattenlaufwerks, insbesondere die Funktion der Schreib- Leseköpfe der Festplatteinheit, nicht gestört wird.

[0005] Andererseits muss die Steifigkeit und Genauigkeit des fluiddynamischen Lagers möglichst groß sein, um ein genaues und sicheres Schreiben und Auslesen von Daten der Festplattenspeicher zu ermöglichen.

[0006] Die oben genannten Vorgaben können u. a. durch eine entsprechende Auslegung der Lagerrillenstrukturen des fluiddynamischen Lagers beeinflusst werden.

[0007] Erfahrungsgemäß ist es dabei vorteilhaft, wenn die Lagerrillenstrukturen einen möglichst großen Querschnitt aufweisen, d. h. eine große Rillentiefe und eine große Rillenbreite. Bei fluiddynamischen Lagersystemen wie sie in modernen Festplattenlaufwerken eingesetzt werden, beträgt die Tiefe der Lagerrillenstrukturen wenige Mikrometer und die Breite einige zehn Mikrometer bis etwa 350 Mikrometer.

[0008] Diese Lagerrillenstrukturen werden in der Regel durch ein elektro-chemisches Bearbeitungsverfahren (ECM: Electro Chemical Machining) in die entsprechenden Lagerbauteile eingebracht. Der zu bearbeitende Werkstoff ist zumeist Stahl. Dabei werden die zu bearbeitenden Bauteile als elektrische Anode geschaltet, während die Elektrode zur Erzeugung der Lagerrillen als Kathode geschaltet ist. Zwischen dem zu bearbeitenden Bauteil, also der Anode und der als Kathode geschalteten Elektrode befindet sich ein Elektrolyt, der im Wesentlichen aus einer wässrigen Salzlösung besteht. Die Kathode trägt leitende Bereiche, die in einer gegenüber liegenden Oberfläche des Lagerbauteils Lagerrillen erzeugen, sobald eine Spannung zwischen Anode und Kathode angelegt wird und ein Strom oberhalb einer kritischen Stromdichte in Form von Ionen durch den Elektrolyten fließt. Die leitenden Bereiche zur Erzeugung von Rillen auf der Oberfläche eines Bauteils stehen vor und/oder sind von einer elektrisch isolierenden Schicht umgeben, welche einen Strom, ausgehend von unerwünschten Bereichen der Elektrode, unterbindet.

[0009] Durch das ECM-Verfahren ist es jedoch nicht möglich in Stahl ideale Strukturen, d.h. im Querschnitt möglichst rechteckige Lagerrillenstrukturen herzustellen, sondern die Form der Lagerrillen weist mehr oder weniger abgerundete Kanten auf. Es ergibt sich ein eher trogförmiger Querschnitt der Lagerrillenstrukturen mit schräg abfallenden Wänden und konkaver Bodenfläche.

[0010] Insbesondere bei eng nebeneinander liegenden Lagerrillenstrukturen führt dies dazu, dass keine definierten separaten Lagerrillen (grooves) gebildet werden können, sondern die Lagerrillenstrukturen fast fließend ineinander übergehen, d.h. dass die ebenen Bereiche zwischen benachbarten Lagerrillen (land) ebenfalls vertieft werden, ein unerwünschter Effekt, der als „land erosion“ bezeichnet wird. Um diesen Effekt zu vermeiden, sollte das Verhältnis von der Breite der Lagerrillen zu der Summe der Breite der ebenen Bereiche zwischen benachbarten Lagerrillen (land) und der Breite der Lagerrillen, auch „groove to pitch ratio“ (GPR) genannt, etwa 0,5 sein.

[0011] Durch diese Unzulänglichkeiten des ECM-Verfahrens ist es daher nicht möglich, die vorgesehenen Lagereigenschaften zu erreichen, sondern durch die Form der Lagerrillen ergeben sich in der Praxis Einschnitte in der Lagerperformance, die bei der Auslegung der Lager berücksichtigt werden müssen.

[0012] Es wäre daher wünschenswert, auf ein ECM-Verfahren zurückgreifen zu können, welches in der Lage ist, entsprechende Strukturen in die Oberflächen des Werkstückes einzubringen, die nahe an den gewünschten idealen Strukturen liegen.

[0013] Die Schrift JP4599735B2 offenbart eine mit einer chemischen Nickelbeschichtung beschichtete Lagerbuchse, in die mittels eines ECM-Verfahrens Lagerrillenstrukturen eingearbeitet werden. Die Lagerrillen sind dabei ausschließlich in der Nickelbeschichtung ausgebildet.

[0014] Weitere Verfahren sind aus der US 2008090739 A1, der US 2008199767, der JP H05149326 A, der JP 2001241431 A und der JP 2007146277 A bekannt.

OFFENBARUNG DER ERFINDUNG

[0015] Es ist die Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur elektro-chemischen Bearbeitung eines metallischen Werkstückes anzugeben, bei welchem Strukturen mit sehr viel besserer Genauigkeit und Reproduzierbarkeit in die Oberfläche des metallischen Werkstückes eingebracht werden können.

[0016] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

[0017] Bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung und weitere vorteilhafte Merkmale sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0018] Erfindungsgemäß wird bei dem Verfahren zur elektro-chemischen Bearbeitung eines metallischen Bauteils das metallische Bauteil zunächst mit einer chemischen Nickelbeschichtung (EN, electroless nickel) versehen, die eine mittlere Schichtdicke d aufweist. Danach werden mittels elektro-chemischer Abtragung Strukturen, insbesondere Lagerstrukturen, in die Oberfläche des Bauteils eingebracht, wobei die Strukturen eine Gesamttiefe T aufweisen.

[0019] Erfindungsgemäß ist die Tiefe T der Strukturen größer als die Schichtdicke d der Nickelbeschichtung. Dabei reichen die durch das ECM-Verfahren erzeugten Strukturen durch die Nickelbeschichtung hindurch bis in die Oberfläche des metallischen Bauteils.

[0020] Es hat sich herausgestellt, dass durch eine ECM-Bearbeitung eines metallischen Bauteils, das mit einer chemischen Nickelbeschichtung versehen wurden, Strukturen in der Nickelbeschichtung erzeugt werden können, die vergleichsweise scharfe Konturen und insbesondere steiler abfallende Kanten aufweisen, als Strukturen, die in einer Stahloberfläche mittels einer ECM-Bearbeitung erzeugt werden. Es lassen sich somit ECM-Strukturen herstellen, die sehr viel näher an den idealen Strukturen liegen, als vergleichsweise bei bisherigen ECM-Verfahren.

[0021] Als Nickelbeschichtung für das metallische Bauteil ist insbesondere eine Legierung aus Nickel-Phosphor, in besonderem Maße jedoch eine Legierung aus Nickel-Bor geeignet. Eine Beschichtung mit Nickel-Bor ermöglicht die kontrollierte Herstellung von genaueren Oberflächenstrukturen, als in einer Beschichtung mit Nickel-Phosphor und insbesondere genauere Oberflächenstrukturen, als in Stahl. Bei Verwendung einer Nickel-Bor-Beschichtung arbeitet der ECM-Prozess oberhalb eines bestimmten Schwellwertes der verwendeten Stromdichte sehr effizient, während unterhalb dieses Schwellwertes die Effizienz mehr und mehr nachlässt. Es

hat sich herausgestellt, dass die Empfindlichkeit hinsichtlich der verwendeten Stromdichte beim ECM-Prozess bei einer Beschichtung mit Nickel-Bor sehr viel größer und schärfer ist als beispielsweise bei einem ECM-Prozess auf einer reinen Stahloberfläche.

[0022] Aufgrund dieses Effektes ist es möglich, dass die Form der eingebrachten ECM-Strukturen sehr viel näher an den gewünschten Strukturen liegt, welche der ECM- Elektrode aufgeprägt sind. Dadurch können die auf der ECM-Elektrode aufgebrachten Strukturen sehr viel genauer auf der metallischen Oberfläche eines Bauteils abgebildet werden und die Form der auf das Bauteil aufzubringenden Strukturen sehr viel besser kontrolliert werden.

[0023] Die Oberfläche des metallischen Bauteils wirkt in diesem Falle als eine Grenze oder eine Begrenzung für den ECM-Prozess, da das metallische Bauteil, beispielsweise Stahl, eine wesentlich geringere Empfindlichkeit auf den ECM-Abtragsprozess zeigt als die Nickelbeschichtung. Vorzugsweise ergibt sich dadurch bei der Strukturierung einer Oberfläche ein Querschnitt, bei dem entlang der Nickelbeschichtung ein schräger Kantenabfall ausgebildet ist, an dessen Unterkante die Oberfläche des Stahlbauteils ein Plateau bildet, das vom ECM-Prozess nicht abgetragen wird, an das sich wiederum mit einem gewissen Abstand zur Nickelbeschichtung ein deutlich schwächerer Kantenabfall im Stahlbauteil als in der Nickelbeschichtung anschließt. Der Winkel zwischen der Oberfläche der Nickelbeschichtung und dem Kantenabfall innerhalb der Nickelbeschichtung ist größer 10 Grad und ist üblicherweise 20 Grad bis 25 Grad. Der Winkel zwischen der Oberfläche des Stahlbauteils und dem Kantenabfall innerhalb des Stahls ist kleiner 10 Grad und beträgt üblicherweise etwa 4 Grad.

[0024] Die Nickelbeschichtung hat, im Vergleich zu einer Metalloberfläche bzw. Stahloberfläche, einen weiteren positiven Effekt. Durch die Nickelbeschichtung erhält das metallische Bauteil eine größere Härte und Abriebfestigkeit. Durch das erfindungsgemäße Verfahren ergeben sich demnach sehr effiziente und genaue ECM-Strukturen in der Nickelbeschichtung bei gleichzeitig verbesserter Härte und Abriebfestigkeit. Dies macht das beschriebene Verfahren insbesondere für die Bearbeitung von Lagerbauteilen eines fluiddynamischen Lagers verwendbar.

[0025] Erfindungsgemäß werden bei einem fluiddynamischen Lager insbesondere die Lagerrillenstrukturen eines fluiddynamischen Radiallagers oder eines fluiddynamischen Axiallagers mittels ECM in die Oberflächen der mit einer chemischen Nickelbeschichtung versehenen Lagerbauteile eingebracht. Dabei werden die Lagerrillenstrukturen über die Nickelbeschichtung hinaus in die Oberfläche des metallischen Bauteils eingebracht.

[0026] Ein Aspekt eines Verfahrens zur elektro-chemischen Bearbeitung eines metallischen Lagerbauteils sieht vor, zunächst Lagerrillenstrukturen eines oder mehrerer Axiallager in die Oberfläche eines Lagerbauteils mittels elektro-chemischer Abtragung einzubringen, anschließend das Lagerbauteil mit einer Nickelschicht zu versehen, und zuletzt im selben Lagerbauteil die Lagerrillenstrukturen von einem oder mehreren Radiallagern mittels elektro-chemischer Abtragung einzubringen. Dabei ist die Rillentiefe der Axiallager größer als die Schichtdicke der Nickelschicht. Die Rillentiefe der Radiallager ist dabei vorzugsweise ebenfalls tiefer als die Schichtdicke der Nickelschicht.

[0027] Vorzugsweise beträgt die Schichtdicke der Nickelschicht etwa 0,5 Mikrometer bis 2,5 Mikrometer, die Rillentiefe der Radiallagerrillen beträgt etwa 2 bis 10 Mikrometer und die Rillentiefe der Axiallager beträgt etwa zwischen 10 Mikrometer und 20 Mikrometer.

[0028] Ein solches fluiddynamisches Lagersystem kann vorzugsweise zur Drehlagerung eines Spindelmotors zum Antrieb eines Festplattenlaufwerkes verwendet werden.

[0029] Nachfolgend wird die Erfindung anhand der Zeichnungsfiguren näher beschrieben. Hieraus ergeben sich weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0030] Figur 1 zeigt einen Schnitt durch einen Spindelmotor mit einem fluiddynamischen Lagersystem, dessen Lagerrillenstrukturen mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt wurden.

- [0031] Figur 2 zeigt das Detail X von Figur 1.
- [0032] Figur 3 zeigt das Detail Y von Figur 2
- [0033] Figur 4 zeigt den Schnitt A-A durch Figur 3.
- [0034] Figur 5 zeigt einen Schnitt durch eine andere Ausführungsform eines Spindelmotors mit fluiddynamischem Lager.
- [0035] Figur 6 zeigt einen Schnitt durch eine weitere Ausführungsform eines Spindelmotors mit fluiddynamischem Lager.
- [0036] Figur 7 zeigt einen Schnitt durch eine wiederum andere Ausführungsform eines Spindelmotors mit fluiddynamischem Lager.
- [0037] Figur 8 zeigt eine Aufsicht auf ein Axiallager eines Spindelmotors.

BESCHREIBUNG VON BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSBEISPIELEN DER ERFINDUNG.

[0038] In Figur 1 ist ein Schnitt durch einen Spindelmotor mit fluiddynamischem Lager dargestellt. Der Spindelmotor umfasst eine Basisplatte 10, welche die Lagerkomponenten und das elektromagnetische Antriebssystem des Spindelmotors trägt.

[0039] Das Lagersystem umfasst eine feststehende Lagerbuchse 14, die in einer Öffnung der Basisplatte 10 befestigt ist. Die Lagerbuchse weist eine zentrale Lagerbohrung auf, in der eine Welle 12 um eine Rotationsachse 46 drehbar gelagert ist.

[0040] Die Welle 12 trägt an ihrem freien Ende ein Rotorbauteil in Form einer Nabe 16, die sich zusammen mit der Welle 12 dreht. Die Lagerung der Welle 12 erfolgt mittels des fluiddynamischen Lagersystems, welches zwei fluiddynamische Radiallager 22, 24 und ein fluiddynamisches Axiallager 28 aufweist, die entlang eines Lagerspaltes 20 angeordnet sind.

[0041] Der Lagerspalt 20 erstreckt sich in Richtung parallel zur Rotationsachse 46 zwischen einem Außenumfang der Welle 12 und einem Innenumfang der Lagerbohrung der Lagerbuchse 14 und entlang eines radial verlaufenden Abschnittes zwischen einer Stirnseite der Lagerbuchse 14 und einer unteren Stirnfläche der Nabe 16.

[0042] Der Lagerspalt ist einige Mikrometer bis einige 10 Mikrometer breit und mit einem Lagerfluid, vorzugsweise einem Lageröl, gefüllt.

[0043] An einem unteren Ende der Welle 12 ist eine Verbreiterung in Form eines Stopperrings 12a vorgesehen, der als Ausfallsicherung für die Welle 12 und als Begrenzung des axialen Lagerspiels dient. Der Stopperring 12a ist in einer Aussparung der Lagerbuchse 14 aufgenommen. Die Aussparung ist mit dem Lagerspalt 20 verbunden, mit Lagerfluid gefüllt und von einer Abdeckung 18 abgedeckt.

[0044] Ein erstes oberes Radiallager 22 umfasst im Erscheinungsbild etwa sinusförmige Radiallagerrillenstrukturen 22a die über dem Umfang der Lagerbohrung bzw. über den Umfang der Welle 12 angeordnet sind. Die Lagerrillenstrukturen 22a sind asymmetrisch ausgebildet und erzeugen bei Betrieb des Lagers eine gerichtete Pumprichtung in Richtung des Lagerinneren.

[0045] Ein zweites unteres Radiallager 24 umfasst ebenfalls sinusförmige Radiallagerrillen 24a, die am Umfang der Lagerbohrung bzw. am Außenumfang der Welle 12 angeordnet sind. Die Lagerrillenstrukturen 24a sind symmetrisch ausgebildet und erzeugen bei idealer Lagerbauteilgeometrie, das heißt für eine Welle 12 ohne Abweichung von der zylindrischen Form sowie für eine Bohrung innerhalb der Lagerbuchse 14 zur Aufnahme der Welle 12 ohne Abweichung von der hohlzylindrischen Form, bei Betrieb des Lagers keine gerichtete Pumprichtung.

[0046] Sobald sich die Welle 12 in der Lagerbohrung dreht, wird durch die Rillenstrukturen 22a, 24a der Radiallager 22, 24 ein hydrodynamischer Druck im Lagerspalt 20 erzeugt, welcher die Lager tragfähig macht.

[0047] Das Axiallager 28 umfasst beispielsweise auf der Stirnseite der Lagerbuchse 14 ange-

ordnete spiralförmige Rillenstrukturen, die bei Drehung der Nabe 16 relativ zur Lagerbuchse ebenfalls eine Pumpwirkung auf das im radial verlaufenden Lagerspalt befindliche Lagerfluid ausüben, so dass die Nabe 16 von der Oberfläche der Lagerbuchse abhebt und axial stabilisiert wird.

[0048] Das offene Ende des Lagerspalt 20 im Bereich des horizontalen Abschnittes verbreitert sich im Bereich des äußeren Durchmessers der Lagerbuchse 14 und knickt etwa im rechten Winkel ab und geht über in einen kapillaren Dichtungsspalt 32, dessen Spaltbreite sich in Richtung seiner Öffnung vergrößert. Der kapillare Dichtungsspalt 32 ist teilweise mit Lagerfluid gefüllt und dient als Reservoir für das Lagerfluid und zur Abdichtung des Lagersystems.

[0049] Der Dichtungsspalt 32 ist mit der Außenatmosphäre über einen Luftspalt 34 verbunden. Der Luftspalt 34 hat vorzugsweise eine kleine Spaltbreite, damit ein Entweichen von verdampftem Lagerfluid aus dem Dichtungsspalt 32 verringert wird.

[0050] Um eine ständige Zirkulation des Lagerfluids im Lager zu gewährleisten, ist in der Lagerbuchse 14 ein Rezirkulationskanal 30 vorgesehen, der die Aussparung im Bereich des Stopperrings 12a direkt mit dem Ende des Lagerspalts 20 im Bereich des Dichtungsspalt 32 verbindet. Der Rezirkulationskanal 30 ist vollständig mit Lagerfluid gefüllt und ermöglicht eine Zirkulation des Lagerfluids durch das Lager.

[0051] Der Antrieb des Spindelmotors erfolgt über ein elektromagnetisches Antriebssystem, welches eine Statoranordnung 36 umfasst, die an der Basisplatte 10 fest angeordnet ist. Radial gegenüberliegend der Statoranordnung 36 ist ein Rotormagnet 38 vorgesehen, der an einer inneren Umfangsfläche der Nabe 16 befestigt ist.

[0052] Durch entsprechende Bestromung der Statorwicklungen der Statoranordnung 36, wird der Rotormagnet mitsamt der Nabe 16 und der Welle 12 in Drehung versetzt.

[0053] Eine axiale Vorspannung für das Axiallager 28 wird magnetisch erzeugt, indem unterhalb der unteren Stirnfläche des Rotormagneten 38 ein Zugring 40 vorgesehen ist, der vom Rotormagneten 38 magnetisch angezogen wird. Diese magnetische Anziehungskraft wirkt der Kraft des fluiddynamischen Axiallagers 28 entgegen und stabilisiert das Lager in axialer Richtung. Desweiteren ist der Mittelpunkt des Rotormagneten 38 gegenüber dem Mittelpunkt der Statoranordnung 36 in axialer Richtung nach oben, also in Richtung der Nabe 20, verschoben und wirkt somit ebenfalls als magnetische Gegenkraft zur Kraft des fluiddynamischen Axiallagers 28.

[0054] Die elektrische Kontaktierung der Wicklungsdrähte 42 der Statoranordnung 36 erfolgt über eine Anschlussplatine 44, mit welcher die Wicklungsdrähte elektrisch verbunden sind.

[0055] Die Lagerrillenstrukturen 22a, 24a der Radiallager 22, 24 als auch die Lagerrillenstrukturen des Axiallagers 28 werden erfindungsgemäß durch elektrochemische Abtragung in die Oberflächen der Lagerkomponenten eingebracht.

[0056] Hierbei weisen die Lagerrillenstrukturen 22a, 24a der fluiddynamischen Radiallager 22, 24 eine Tiefe von wenigen Mikrometern und eine Breite von bis zu 300 Mikrometern auf, wogegen die Lagerrillenstrukturen des fluiddynamischen Axiallagers 28 bis zu 20 Mikrometer tief und bis zu 350 Mikrometer breit sind.

[0057] Zwischen den Radiallagern 22, 24 befindet sich ein Separatorspalt 26, der eine größere Spaltbreite aufweist, als vergleichsweise der Lagerspalt 20.

[0058] Figur 2 zeigt das Detail X der Figur 1. Die Lagerrillenstruktur 22a wurde mittels ECM in das mit einer Nickelbeschichtung 48 beschichtete metallische Bauteil 14 eingearbeitet. Deutlich zu erkennen ist das dadurch entstandene Plateau 50 auf der Oberfläche des metallischen Bauteils 14.

[0059] Figur 3 zeigt das Detail Y einer Lagerrillenstruktur 22a aus der Figur 2.

[0060] Figur 4 zeigt einen vergrößert dargestellten Schnitt entlang der Linie A-A von Figur 3. Man erkennt, dass bei der Herstellung der Lagerrillenstruktur 22a durch das elektrochemische

Abtragungsverfahren sowohl Material der Nickelbeschichtung 48, die eine Schichtdicke d aufweist, als auch dem Stahl der Lagerbuchse 14 abgetragen wurde. Die Nickelbeschichtung 48 wurde also im Bereich der Lagerrillenstruktur 22a über die gesamte Schichtdicke d vollständig abgetragen.

[0061] Durch dieses ECM-Verfahren bilden sich an der Nickelbeschichtung 48 äußere Ränder a_1 , a_2 in der Lagerrillenstruktur 22a, an die sich ein Kantenabfall 52 anschließt, der bis auf die Oberfläche der Lagerbuchse 14 reicht. An diesen Kantenabfall 52 schließt sich ein Plateau 50 auf der Oberfläche des Stahls der Lagerbuchse 14 an. Dieses Plateau 50 ist der Bereich der Lagerbuchse 14, bei dem die Nickelschicht 48 auf der Stahloberfläche vollständig entfernt ist, die Stahloberfläche selber vom ECM-Prozess jedoch nicht abgetragen wurde. An den Enden dieses Plateaus 50 bilden sich innere Ränder b_1 , b_2 in der Lagerrillenstruktur 22a aus, an die sich wiederum ein weiterer, jedoch deutlich schwächerer, Kantenabfall 54 im Stahlbauteil anschließt. Der Winkel zwischen dem Kantenabfall 52 und der Oberfläche der Nickelbeschichtung beträgt beispielsweise für eine Nickel-Bor-Beschichtung etwa 20 Grad bis 25 Grad, während der Winkel zwischen dem Kantenabfall 54 und der Oberfläche des Stahls etwa 4 Grad beträgt.

[0062] Das ECM-Verfahren wurde so eingestellt, dass nicht nur die Nickelschicht 48 abgetragen wird, sondern auch Material aus der Oberfläche des Stahls der Lagerbuchse 14 abgetragen wird. Der Materialabtrag durch das ECM-Verfahren lässt sich durch die gewählte Spannung steuern. Durch eine höhere Spannung wird die Breite des Plateaus 50, also der Bereich zwischen a_1 und b_1 bzw. a_2 und b_2 , reduziert. Die Breite des Plateaus 50 ist somit über die verwendete Spannung im ECM-Verfahren steuerbar. Übliche Spannungen liegen im Bereich von 7 Volt bis 15 Volt.

[0063] Die Breite des Materialabtrages in der Oberfläche des Stahls der Lagerbuchse 14 ist wesentlich geringer, als die in der Nickelbeschichtung 48 und wird durch die inneren Ränder b_1 , b_2 der Lagerbuchse 22a begrenzt.

[0064] Es ergibt sich also eine im Querschnitt profilierte Lagerrillenstruktur 22a mit Abstufungen, die durch die Kanten a_1 , a_2 und b_1 , b_2 gebildet werden. Die Lagerrillenstruktur 22a reicht durch die Nickelbeschichtung 48 hindurch bis in den Stahl der Lagerbuchse 14.

[0065] Die Figuren 5 bis 7 zeigen weitere Spindelmotoren zum Antrieb von Festplattenspeichergeräten, die fluiddynamische Lager aufweisen, welche entsprechend der Erfindung ausgestaltet sind.

[0066] Figur 5 zeigt einen Spindelmotor mit einer abgewandelten Ausgestaltung eines fluiddynamischen Lagers. Der Spindelmotor umfasst eine Basisplatte 110 mit einer Öffnung, in welche ein im Querschnitt etwa becherförmiges Lagerbauteil 113 eingesetzt ist. In einer Öffnung des Lagerbauteils 113 ist eine feststehende Welle 112 angeordnet, die an ihrem freien Ende ein Stopperbauteil 112a umfasst.

[0067] Im Zwischenraum zwischen dem Lagerbauteil 113, der Welle 112 und dem Stopperbauteil 112a ist eine Lagerbuchse 114 drehbar um eine Rotationsachse 146 angeordnet. Die Lagerbuchse 114 ist Teil der Nabe 116 und bildet zusammen mit der Nabe 116 das Rotorbauteil des Spindelmotors.

[0068] Die feststehenden Lagerbauteile 113, 112 und 112a sind durch einen Lagerspalt 120 von den rotierenden Lagerbauteilen 114 und 116 getrennt.

[0069] Entlang eines axial verlaufenden Abschnitts des Lagerspalts 120 sind zwei Radiallager 122, 124 mit entsprechenden Radiallagerstrukturen 122a, 124a angeordnet. Die Radiallagerstrukturen 122a, 124a sind vorzugsweise in der Wandung der Lagerbohrung der Lagerbuchse 114 vorgesehen und weisen beispielsweise sinusförmige Strukturen auf. Das obere Radiallager 122 ist symmetrisch ausgebildet und übt bei idealer Lagerbauteilgeometrie bei Betrieb des Lagers keine gerichtete Pumpwirkung auf das Lagerfluid aus. Das untere Radiallager 124 ist asymmetrisch ausgebildet und übt bei Betrieb des Lagers eine gerichtete Pumpwirkung in Richtung des oberen Radiallagers 122 aus.

[0070] Die Oberfläche der Lagerbuchse 114 ist, wie es bereits im Zusammenhang mit den Figuren 1 bis 4 beschrieben wurde, mit einer Nickelbeschichtung 48 versehen.

[0071] In diese Nickelbeschichtung 48 sind die Lagerrillenstrukturen 122a, 124a in die Nickelbeschichtung 48 und die Oberfläche des Stahls der Lagerbuchse 114 eingebracht.

[0072] Zwischen dem feststehenden Lagerbauteil 113 und einer Stirnseite der Lagerbuchse 114 ist ein fluiddynamisches Axiallager 128 angeordnet.

[0073] Radial außerhalb des Axiallagers 128 entlang des radial verlaufenden Lagerspaltes 120 geht der Lagerspalt 120 in einen Dichtungsspalt 132 über, der durch eine Innenwandung des feststehenden Lagerbauteils 113 und eine Außenwandung oder einem Außenumfang der Lagerbuchse 114 gebildet ist. Der Dichtungsspalt 132 ist über einen Luftspalt 134 mit der Außenatmosphäre verbunden.

[0074] Am anderen Ende des Lagerspaltes 120 im Bereich des Stopperbauteils 112a befindet sich ebenfalls ein kapillarer Dichtungsspalt 133, der in axialer Richtung verläuft und in einem Freiraum mündet, der mittels einer Abdeckung 118 abgedeckt ist.

[0075] Entlang dieses kapillaren Dichtungsspalt 133 kann vorzugsweise eine dynamische Pumpdichtung 135 angeordnet sein. Die Pumpdichtung 135 umfasst Pumprillenstrukturen, die in der Oberfläche der Lagerbuchse 114 bzw. der Oberfläche des Stopperbauteils 112a angeordnet sind. Diese Pumprillenstrukturen üben bei Rotation des Lagers eine Pumpwirkung auf das Lagerfluid in Richtung des Lagerinneren, also in Richtung Lagerspaltes 120, aus.

[0076] Zwischen den Radiallagern befindet sich ein Separatorspalt 126, der eine größere Spaltbreite aufweist, als vergleichsweise der Lagerspalt 120 und üblicherweise mittels spanabhebender Verfahren in die Lagerbohrung zur Aufnahme der Welle 112 innerhalb der Lagerbuchse 114 eingearbeitet wird.

[0077] Entfernte Abschnitte des Lagerspaltes 120, insbesondere die Abschnitte zwischen dem Lagerspalt 120 und den Dichtungsspalten 132, 133 sind über einen Rezirkulationskanal 130 direkt miteinander verbunden. Der Rezirkulationskanal 130 ist vollständig mit Lagerfluid gefüllt und ermöglicht eine Zirkulation des Lagerfluids durch das Lager.

[0078] Der Antrieb des Spindelmotors erfolgt über ein elektromagnetisches Antriebssystem bestehend aus einer Statoranordnung 136, die an der Basisplatte befestigt ist, und einem Rotormagneten 138, der an einem Innenumfang der Nabe 116 angeordnet ist.

[0079] Die axiale Vorspannung für das einzige Axiallager 128 wird über einen ferromagnetischen Zugring 140 realisiert, der vom Rotormagneten 138 in axialer Richtung angezogen wird und eine magnetische Gegenkraft zur Kraft des Axiallagers 128 erzeugt. Desweiteren ist der Mittelpunkt des Rotormagneten 138 gegenüber dem Mittelpunkt der Statoranordnung 136 in axialer Richtung nach oben, also in Richtung der Nabe 120, verschoben und wirkt somit ebenfalls als magnetische Gegenkraft zur Kraft des Axiallagers 128.

[0080] Die Wicklungsdrähte 142 der Statoranordnung 136 sind über eine Anschlussplatine 144 elektrisch kontaktiert.

[0081] Der dargestellte Spindelmotor weist eine relativ große Bauhöhe auf und kann vorzugsweise zum Antrieb eines Festplattenlaufwerkes mit mehreren Speicherplatten verwendet werden, die übereinander liegend an der Nabe angeordnet werden (nicht dargestellt).

[0082] Figur 6 zeigt einen Spindelmotor mit einer weiteren Ausgestaltung eines fluiddynamischen Lagers. Grundsätzlich entspricht der Aufbau des Spindelmotors von Figur 6 dem Aufbau des Spindelmotors von Figur 5.

[0083] Es handelt sich um einen Spindelmotor mit relativ niedriger Bauweise von ca. 7 mm. Die Welle 212 weist neben dem Stopperbauteil 212a, das als separates auf die Welle 212 aufgepresstes Bauteil ausgebildet ist und auf einer Stufe der Welle 212 axial aufliegt, einen verbreiterten Flansch 212b am unteren Ende auf. Mit diesem Flansch 212b ist die Welle 212 in eine Öffnung des feststehenden Lagerbauteils 213 eingesetzt und mit diesem vorzugsweise ver-

schweißt.

[0084] Der Dichtungsspalt 232 ist über einen axial verlaufenden Luftspalt 234 mit der Außenatmosphäre verbunden. Dieser Luftspalt 234 weist vorzugsweise eine geringe Breite von nur einigen zehn Mikrometern auf.

[0085] Am oberen Ende weist die Welle 212 eine zentrale Gewindebohrung auf, mit welcher dieses Ende der Welle mit einem Gehäuse des Motors bzw. Festplattenlaufwerkes direkt verschraubt werden kann. Das Gehäuse liegt dabei auf einer oberen Stirnfläche des Stopperbauteils 212a.

[0086] Der Separatorspalt 226, der zwei Radiallager 222, 224 voneinander trennt, ist in dieser Ausführungsform noch relativ lang, jedoch kürzer als in Figur 5, ausgebildet und weist eine breitere Spaltbreite als der Lagerspalt 220 im Bereich der Radiallager 222, 224 auf.

[0087] Der Rezirkulationskanal 230 ist in dieser Ausführung, im Vergleich zu der Ausführung, die in Figur 5 gezeigt ist, kürzer und in einem größeren Winkel relativ zur Drehachse 246 angeordnet.

[0088] Figur 7 zeigt einen Spindelmotor mit fluiddynamischem Lager, der im Wesentlichen identisch mit dem Spindelmotor von Figur 6 ist, mit der Ausnahme, dass die Bauhöhe im Vergleich zu Figur 6 auf etwa 5 mm reduziert wurde.

[0089] Hierbei ist die axiale Länge des Separatorspalts 226 wesentlich verkürzt, so dass die beiden Radiallager 222, 224 sehr eng beieinander liegen. Vorzugsweise wird der Separatorspalt 226 gemeinsam mit den Radiallagerrillen 222a, 224a mittels eines ECM-Verfahrens in die Lagerbuchse eingebracht. Dabei ist prozessbedingt der Separatorspalt 226 etwa 1 Mikrometer tiefer als die Lagerrillen der Radiallager 222, 224.

[0090] Ebenfalls musste die Länge des Luftspaltes 234 gegenüber Figur 6 erheblich gekürzt werden.

[0091] Die magnetische Vorspannung des Axiallagers 228 wird in dieser Ausführungsform nicht mehr durch einen Zugring, der mit dem Rotormagneten 238 zusammenwirkt, erreicht, sondern durch einen axialen Versatz zwischen der magnetischen Mitte der Statoranordnung 236 und der magnetischen Mitte des Rotormagneten 238.

[0092] Durch diesen axialen Versatz wird eine axiale Kraft entgegen der Lagerkraft des fluiddynamischen Axiallagers 228 erzeugt, welche das Lager im axialen Gleichgewicht hält.

[0093] Der Rezirkulationskanal 230 ist vorzugsweise schräg zur Rotationsachse 246 angeordnet. In der hier gezeigten Ausführung ist der Rezirkulationskanal 230 noch kürzer und in einem noch größeren Winkel zur Drehachse 246 angeordnet, als in der in der Figur 6 gezeigte Rezirkulationskanal 230. Dadurch ergibt sich bei Rotation der Lagerbuchse 214 bzw. der Nabe 216 eine Zentrifugalkraft auf das im Rezirkulationskanal 230 befindliche Lagerfluid.

[0094] Das Lagerfluid wird dabei im Rezirkulationskanal 230 in Richtung des Flansches 212b bzw. feststehenden Lagerbauteils 213 beschleunigt, wodurch die Zirkulation des Lagerfluids durch den Lagerspalt unterstützt wird.

[0095] Dies ist auch bei den übrigen Spindelmotoren gemäß der Figuren, 5 und 6 der Fall.

[0096] Figur 8 zeigt eine Aufsicht des Axiallagers 28 mit Lagerrillenstrukturen 28a. Sämtliche Lagerrillenstrukturen 28a verlaufen dabei bis zu der Innenumfangsfläche der Bohrung innerhalb der Lagerbuchse 14 zur Aufnahme der Welle 12. Zumindest einige der Lagerrillenstrukturen 28a verlaufen bis zum Außenumfang der Lagerbuchse 14. Der Rezirkulationskanal 30 mündet im Bereich der Axiallagerstrukturen 28a.

[0097] Das erfindungsgemäße Verfahren ist uneingeschränkt anwendbar für die Herstellung Lagerrillen für unterschiedlichste fluiddynamische Lager, etwa auch für derartige Lager, die in den Offenlegungsschriften DE 10 2004 040 295 A1 beziehungsweise DE 10 2011 106 511 A1.

LISTE DER BEZUGSZEICHEN

10,110,210	Basisplatte
12,112,212	Welle
12a, 112a, 212a	Stopperring, Stopperbauteil
212b	verbreiterter Flansch
113,213	Lagerbauteil
14,114,214	Lagerbuchse
16,116,216	Nabe (Rotor)
18,118,218	Abdeckung
20, 120, 220	Lagerspalt
22,122,222	Radiallager
22a, 122a, 222a	Lagerrillenstrukturen
24, 124, 224	Radiallager
24a, 124a, 224a	Lagerrillenstrukturen
26, 126, 226	Separatorabschnitt
28, 128, 228	Axiallager
28a, 128a, 228a	Lagerrillenstrukturen
30,130,230	Rezirkulationskanal
32, 132, 232	Dichtungsspalt
133,233	Dichtungsspalt
34, 134, 234	Luftspalt
135,235	Pumpdichtung
36,136,236	Statoranordnung
38, 138, 238	Rotormagnet
40, 140, 240	Zugring
42, 142, 242	Wicklungsdraht
44, 144, 244	Anschlussplatine
46, 146, 246	Rotationsachse
48	Nickelbeschichtung
50	Plateau
52	Kantenabfall in der Nickelbeschichtung
54	Kantenabfall in dem Stahlbauteil
T	Tiefe der Axiallagerrillen
d	Schichtdicke der Nickelbeschichtung
a1, a2	äußerer Rand der Lagerrillenstruktur
b1, b2	innerer Rand der Lagerrillenstruktur

Patentansprüche

1. Verfahren zur elektro-chemischen Bearbeitung eines metallischen Bauteils (14, 114, 214), mit den Schritten:
Beschichten des Bauteils (14, 114, 214) mit einer chemischen Nickelbeschichtung (48) mit einer Schichtdicke d,
Einbringen von Strukturen (22a, 24a, 122a, 124a, 222a, 224a) in die Oberfläche des Bauteils (14, 114, 214) mittels elektro-chemischer Abtragung, wobei die Strukturen (22a, 24a, 28a, 122a, 124a, 128a, 222a, 224a, 228a) eine Gesamttiefe T aufweisen, die größer ist als die Schichtdicke d der Nickelbeschichtung (48).
2. Verfahren gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass als metallisches Bauteil (14, 114, 214) ein Lagerbauteil eines fluiddynamischen Lagers verwendet wird.
3. Verfahren gemäß Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass in das Lagerbauteil Lagerillenstrukturen (22a, 24a, 28a, 122a, 124a, 128a, 222a, 224a, 228a) eines fluiddynamischen Radiallagers (22, 24, 122, 124, 222, 224) und/oder eines fluiddynamischen Axiallagers (28, 128, 228) eingebracht werden.
4. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die eingebrachten Strukturen (22a, 24a, 28a, 122a, 124a, 128a, 222a, 224a, 228a) einen Querschnitt aufweisen, bei dem zwischen dem unteren Ende eines Kantenabfalls (52) in der Nickelbeschichtung (48) und dem oberen Ende eines Kantenabfalls (54) in dem metallischen Bauteil (14, 114, 214) ein Bereich der Oberfläche des metallischen Bauteils (14, 114, 214) als ein Plateau (50) freigelegt wird.
5. Verfahren gemäß dem Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Breite des Plateaus (50) über die gewählte Spannung in dem ECM-Verfahren eingestellt werden kann.
6. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die eingebrachten Strukturen (22a, 24a, 28a, 122a, 124a, 128a, 222a, 224a, 228a) einen Querschnitt aufweisen, bei dem der Kantenabfall (52) an einem äußeren Rand (a1, a2) der Lagerrillenstruktur (22a, 24a, 28a, 122a, 124a, 128a, 222a, 224a, 228a) in der Nickelbeschichtung (48) steiler ausgebildet ist, als der Kantenabfall (54) an einem inneren Rand (b1, b2) der Lagerrillenstruktur (22a, 24a, 28a, 122a, 124a, 128a, 222a, 224a, 228a) in der metallischen Schicht.
7. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Nickelbeschichtung (48) eine Nickel-Bor Legierung verwendet wird.
8. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Nickelbeschichtung (48) eine Nickel-Phosphor-Legierung verwendet wird.
9. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Material für das metallische Bauteil (14, 114, 214) Stahl verwendet wird.
10. Fluiddynamisches Lagersystem mit mindestens einem fluiddynamischen Radiallager (22, 24, 122, 124, 222, 224) und/oder einem fluiddynamischen Axiallager (28, 128, 228), welche Lagerrillenstrukturen (22a, 24a, 122a, 124a, 222a, 224a) aufweisen, die nach dem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9 hergestellt wurden.
11. Spindelmotor mit einem fluiddynamischen Lagersystem gemäß Anspruch 10.
12. Festplattenlaufwerk mit einem Spindelmotor gemäß Anspruch 11.

Hierzu 6 Blatt Zeichnungen

Fig. 1

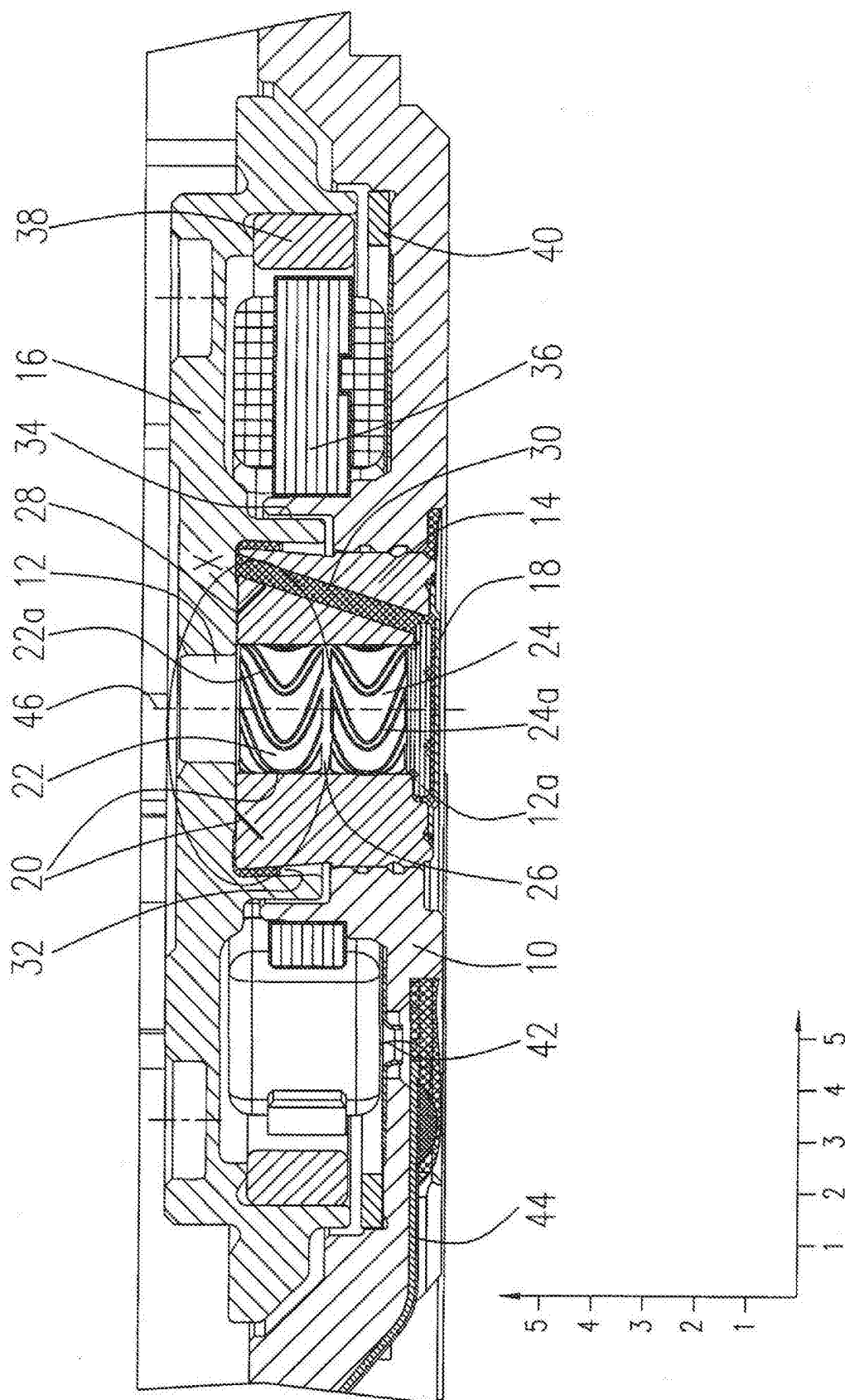


Fig. 2
Detail X

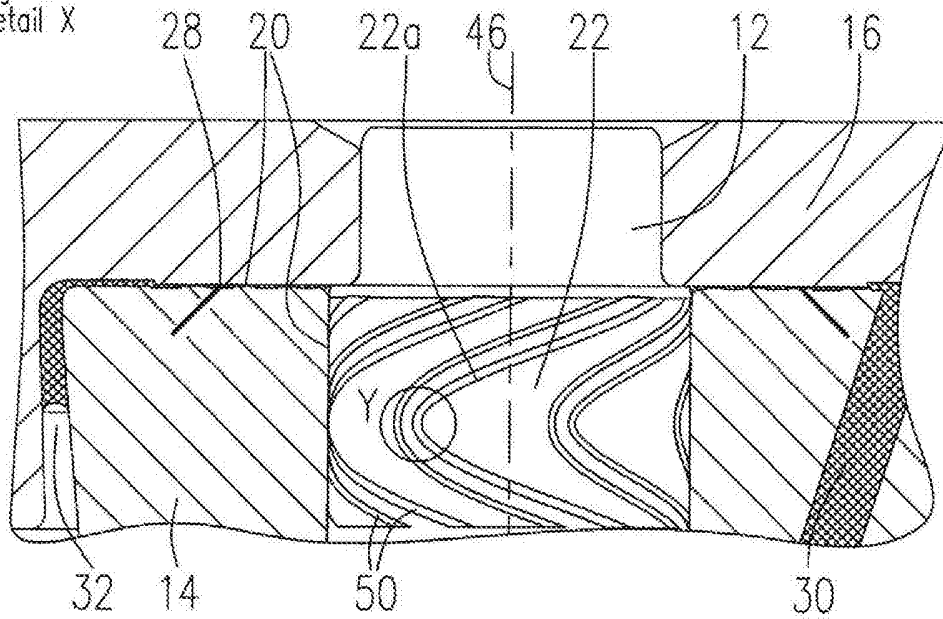


Fig. 3
Detail Y

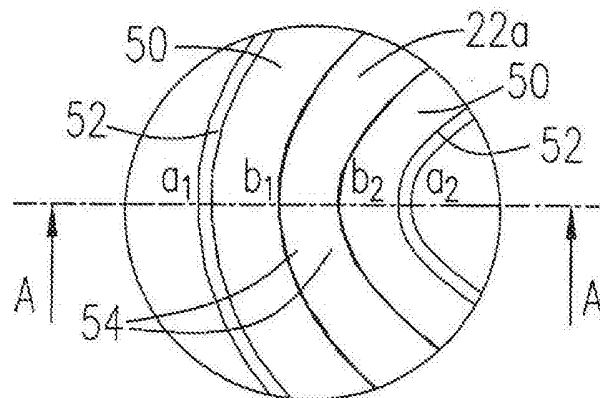
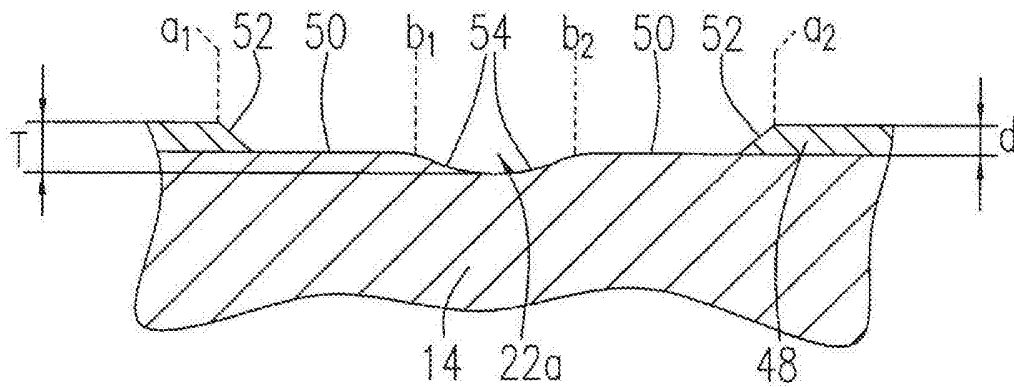


Fig. 4
Schnitt A-A



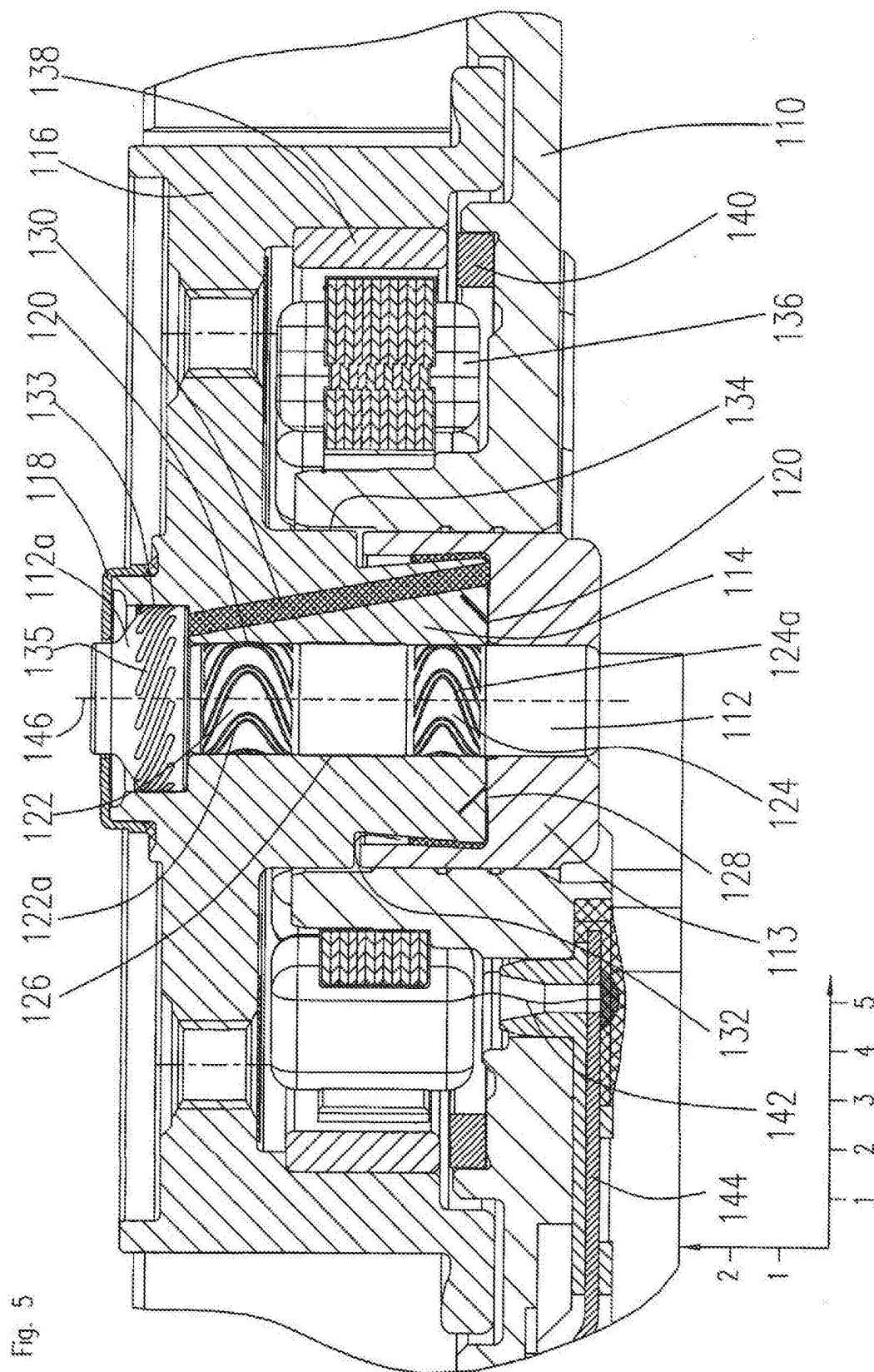


Fig. 6

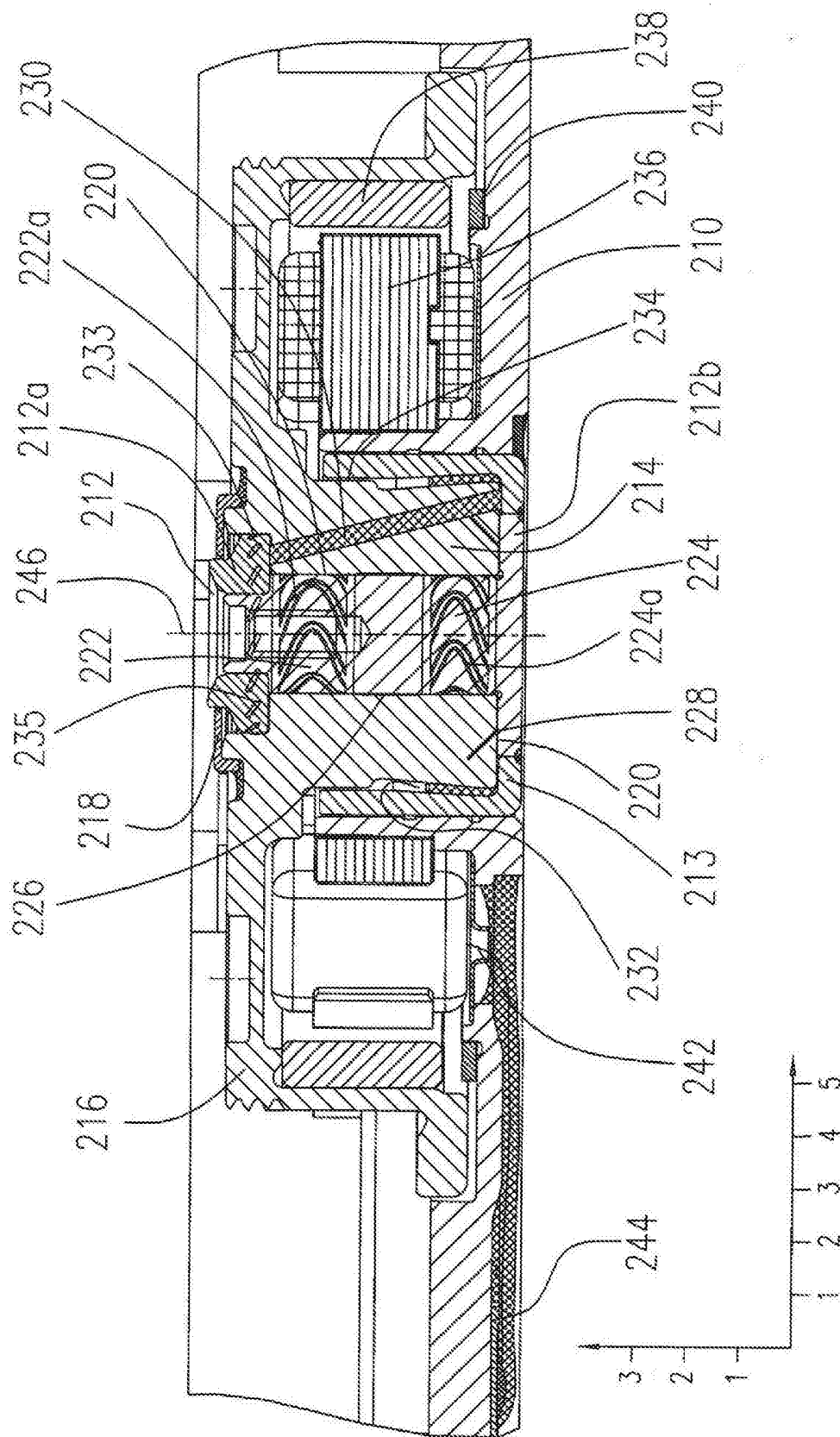


Fig. 7

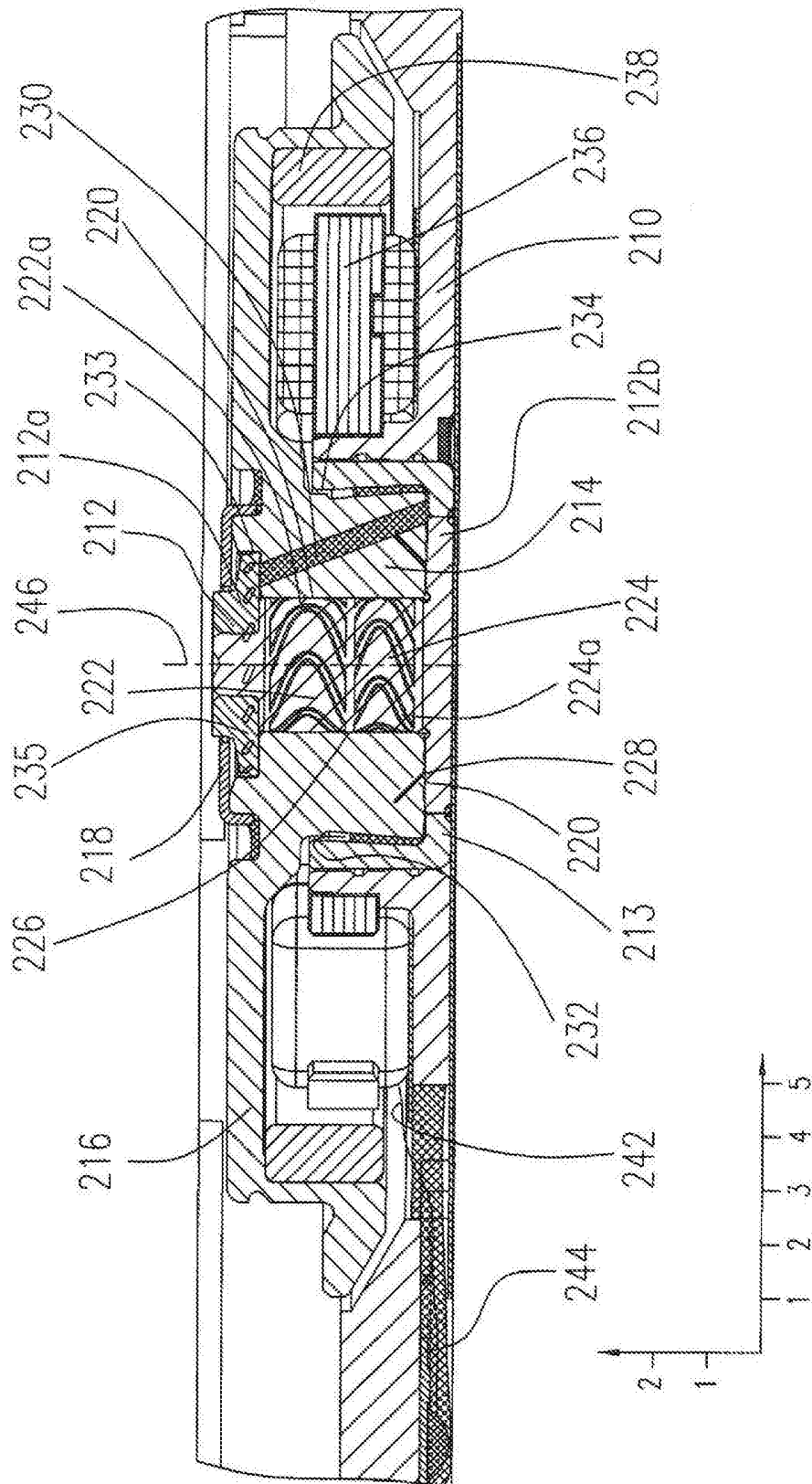


Fig. 8

