

(12)

Patentschrift

(21)

Anmeldenummer:

A 50477/2016

(22)

Anmeldetag:

25.05.2016

(45)

Veröffentlicht am:

15.10.2020

(51)

Int. Cl.:

B23H 3/04

F16C 33/10

(2006.01)

(2006.01)

(56) Entgegenhaltungen: JP H10180545 A JP H10220460 A US 6693036 B1 US 2009134036 A1 US 2005121328 A1	(73) Patentinhaber: MINEBEA MITSUMI Inc. Nagano-ken (JP) (72) Erfinder: Bauer Martin Dr. 78052 Villingen-Schwenningen (DE) (74) Vertreter: GIBLER & POTH PATENTANWÄLTE KG 1010 Wien (AT)
---	--

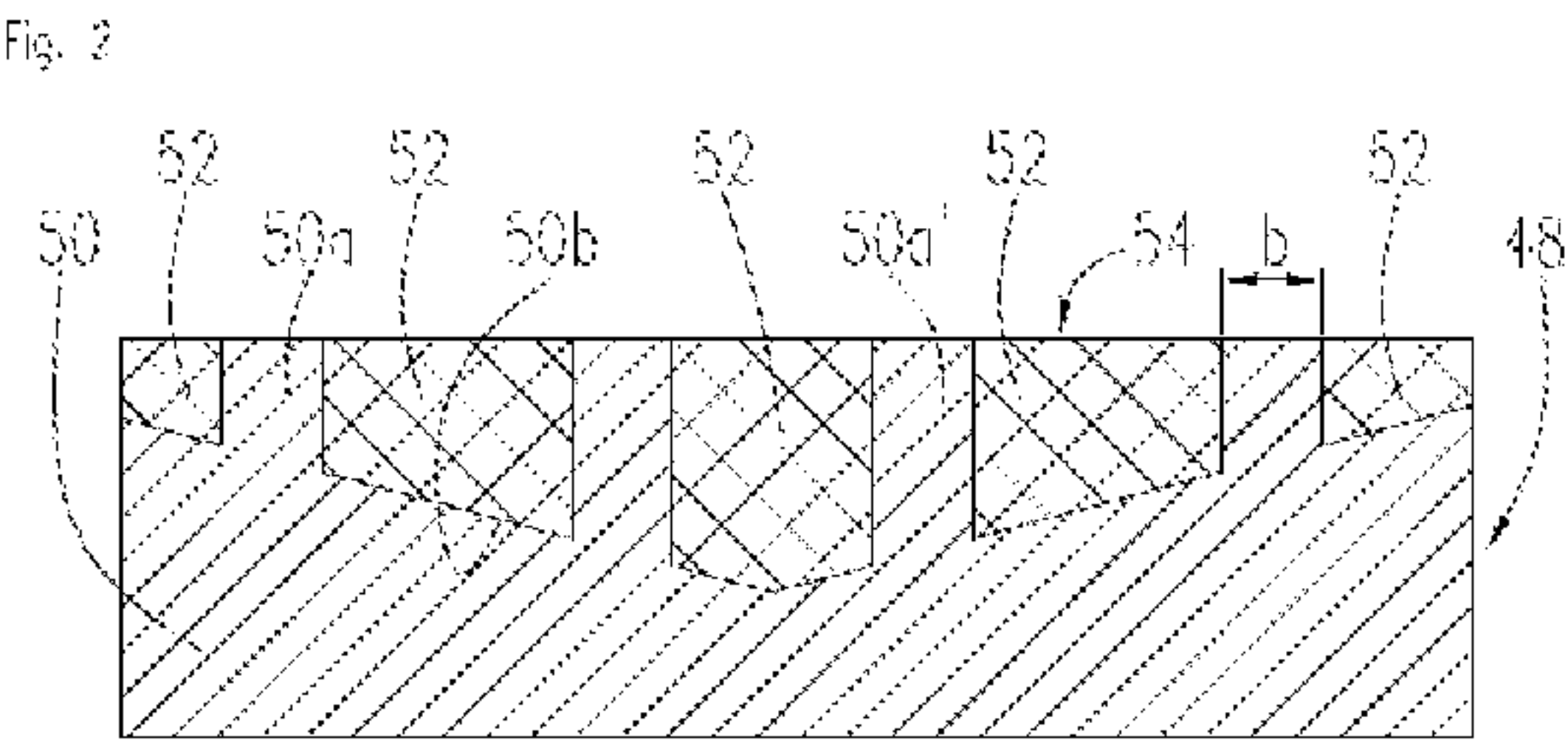
(54)

Elektrode zur elektrochemischen Bearbeitung eines metallischen Werkstücks

(57)

Die Erfindung betrifft eine Elektrode zur elektrochemischen Bearbeitung eines metallischen Werkstücks mit einem Elektrodenkörper (48) bestehend aus einem Elektrodenkern (50) aus einem elektrisch leitenden Material, wobei die Oberfläche des Elektrodenkerns (50) mehrere Erhebungen (50a, 50a') und Senkungen (50b) aufweist, wobei die Senkungen (50b) bis zur Oberkante der Erhebungen mit einem elektrisch isolierenden Material (52) aufgefüllt sind, so dass der Elektrodenkörper eine glatte Oberfläche (54) mit elektrisch leitenden Bereichen aus dem elektrisch leitenden Material und elektrisch isolierenden Bereichen aus dem elektrisch isolierenden Material aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest zwei der mehreren Erhebungen (50a, 50a') des Elektrodenkerns (50) unterschiedliche Höhe gemessen von der Bodenfläche der angrenzenden Senkungen (50b) aufweisen,

oder dass die Höhe einer Erhebung (50, 50a') im Verlauf der Erhebung variiert, oder dass zumindest bei einer der Erhebungen (50a') die Breite (b, b2, b3) der Querschnittfläche im Höhenverlauf im Gegensatz zu mindestens einer weiteren Erhebung (50a) variiert.



Beschreibung

ELEKTRODE ZUR ELEKTROCHEMISCHEN BEARBEITUNG EINES METALLISCHEN WERKSTÜCKS

GEBIET DER ERFINDUNG:

[0001] Die Erfindung betrifft eine Elektrode für die elektrochemische Bearbeitung eines metallischen Werkstücks, beispielsweise eine Elektrode zur elektrochemischen Bearbeitung von Lagerbauteilen eines fluiddynamischen Lagers. Insbesondere betrifft die Erfindung eine Elektrode gemäß den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1.

BESCHREIBUNG DES STANDS DER TECHNIK

[0002] Elektroden zur elektrochemischen Bearbeitung (engl: Electro Chemical Machining, ECM) von metallischen Werkstücken werden in der Fertigungstechnik unter anderem zum Einbringen von Lagerstrukturen in Oberflächen von fluiddynamischen Lagern eingesetzt. Fluiddynamische Lager werden beispielsweise zur Drehlagerung von Spindelmotoren verwendet. Zum Aufbau eines hydrodynamischen Drucks im Lagerspalt sind die Lageroberflächen mit Rillenstrukturen versehen. In Folge einer rotatorischen Relativbewegung der beiden Lagerbauteile erzeugen diese Rillenstrukturen eine Pumpwirkung auf das Lagerfluid und somit einen Druck im Lagerspalt.

[0003] Beim elektrochemischen Abtragungsverfahren erfolgt der Materialabtrag am Werkstück durch anodische Auflösung des elektrisch leitenden Materials des Werkstücks. Hierzu wird ein Stromkreis zwischen Anode (Werkstück) und Kathode (Elektrode) über eine Elektrolytlösung, beispielsweise eine Kochsalzlösung oder Natriumnitratlösung (NaNO_3), geschlossen. Beim elektrochemischen Abtragungsverfahren wird mit einer Gleichspannung zwischen etwa 10 bis 60 Volt oder bevorzugt mit einer Pulsspannung zwischen etwa 5 bis 20 Volt gearbeitet, wobei die Intensität des Materialabtrags über die Stromdichte und die Zeit, während derer der geschlossene Stromkreis auf die zu bearbeitende Stelle einwirkt, gesteuert wird.

[0004] Die Geometrie der verwendeten Elektroden ist an die Geometrie der zu bearbeitenden Werkstücke sowie an die zu lösende Bearbeitungsaufgabe und die angestrebte Endkontur des Werkzeugs angepasst. Zum Einbringen von Lagerrillenstrukturen in die Oberfläche einer Lagerbohrung eines fluiddynamischen Lagers kann beispielsweise eine stabförmige zylindrische Elektrode verwendet werden, die in die Lagerbohrung eingeführt wird. Der Durchmesser der Elektrode ist geringfügig kleiner als der Durchmesser der Lagerbohrung, so dass ein ringförmiger Spalt zwischen der Elektrode und der Oberfläche der Bohrung verbleibt, in welchen der Elektrolyt eingefüllt wird. Je kleiner die Breite des Spaltes, d.h. der Abstand zwischen der Elektrode und der Oberfläche der Bohrung ist, desto größer ist die effektive Stromdichte und folglich der Materialabtrag.

[0005] Eine solche Elektrode zur elektrochemischen Bearbeitung eines metallischen Werkstücks umfasst einen Elektrodenkörper aus einem elektrisch leitenden Material, wobei die Oberfläche des Elektrodenkerns mehrere Erhebungen und Senkungen aufweist, und die Senkungen bis zur Oberkante der Erhebungen mit einem elektrisch isolierenden Material aufgefüllt sind, so dass der Elektrodenkörper eine glatte Oberfläche mit sowohl elektrisch leitenden Bereichen aus dem elektrisch leitenden Material als auch elektrisch isolierenden Bereichen aus dem elektrisch isolierenden Material aufweist. Der Materialabtrag beim elektrochemischen Abtragungsverfahren erfolgt beim Werkstück nur in den Bereichen, die den elektrisch leitenden Bereichen der Elektrode gegenüberliegen. Bei der Herstellung von Rillenstrukturen für fluiddynamische Lager ist es manchmal wünschenswert, unterschiedlich breite Rillenstrukturen vorzusehen. Dies kann dadurch erreicht werden, dass die Breite der leitenden Bereiche auf der Elektrode entsprechend an die gewünschte Breite der Rillenstrukturen im Werkstück angepasst wird.

[0006] Die Tiefe der Rillenstrukturen kann durch den Abstand zwischen Elektrode und Werkstück sowie die Zeit des einwirkenden Stroms und dessen Spannung gesteuert werden. Es wird bevor-

zugt eine optimale Stromdichte angestrebt um einen gleichbleibenden Querschnitt der Rillenstrukturen zu erzielen. Besondere Schwierigkeiten bei der Herstellung bereitet die gleichzeitige Erzeugung von mehreren Lagerrillenstrukturen, die jeweils eine unterschiedliche individuelle Tiefe aufweisen bzw. von einzelnen Lagerrillenstrukturen, deren Tiefe über die Länge der Rille variiert. Derartige Strukturen sind nur sehr schwer zu erzeugen.

[0007] Die AT 5150351 A1 offenbart eine Elektrode für die elektrochemische Bearbeitung eines metallischen Werkstücks mit einem Elektrodenkörper, der elektrisch leitende Bereiche und elektrisch isolierende Bereiche umfasst, wobei die Elektrode derart geformt ist, dass die Breite des Arbeitsspalts zwischen der Elektrode und dem Werkstück variiert. Somit ist es möglich, in einem einzigen Arbeitsgang unterschiedlich tiefe Rillenstrukturen auf der Oberfläche des Werkstücks herzustellen, da durch den variablen Abstand zwischen Elektrode und Werkstück die Stromdichte entsprechend variiert. Wird der Arbeitsspalt zu groß, kann es zu unsauberen Rillenkonturen und unerwünschten Verbindungen von eng beieinander liegenden Rillenstrukturen kommen.

[0008] Die JP H10180545 A offenbart eine Elektrode zur elektrochemischen Bearbeitung eines metallischen Werkstücks mit einem Elektrodenkörper, bestehend aus einem Elektrodenkern aus einem elektrisch leitenden Material. Das Höhenniveau der Elektrode wird stufenweise verändert.

[0009] Die JP H10220460 A offenbart eine Elektrode zur elektrochemischen Bearbeitung eines metallischen Werkstücks mit einem Elektrodenkörper bestehend aus einem Elektrodenkern aus einem elektrisch leitenden Material. In der JP H10220460 A wird beschrieben, wie eine glatte Elektrodenoberfläche erreicht werden kann, beispielsweise durch Auffüllen der Vertiefungen mit einer elektrisch isolierenden Vergussmasse. Die elektrisch leitenden Bereiche der Erhebungen zeigen eine gleichbleibende Höhe, gemessen von der Bodenfläche der angrenzenden Senkungen.

[0010] Aus der US 6 693 036 B1, der US 2009/0134036 A1 und der US 2005/121328 A1 sind beschichtete Wafer oder Substrate mit strukturierter Oberfläche und gleichen Höhenniveaus oder gleichen Querschnitten bekannt.

OFFENBARUNG DER ERFINDUNG

[0011] Es ist die Aufgabe der Erfindung, eine Elektrode zur elektrochemischen Bearbeitung von metallischen Werkstücken anzugeben, mit welcher in einem Bearbeitungsdurchgang Strukturen unterschiedlicher Tiefe erzeugt werden können. Hierbei soll eine gleichbleibende Genauigkeit der Konturen bei den unterschiedlich tiefen Strukturen erhalten bleiben.

[0012] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Elektrode mit den in Anspruch 1 angegebenen Merkmalen gelöst.

[0013] Vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung und weitere bevorzugte Merkmale sind in den abhängigen Ansprüchen offenbart.

[0014] Die erfindungsgemäße Elektrode zeichnet sich dadurch aus, dass zumindest zwei der mehreren Erhebungen des Elektrodenkerns eine unterschiedliche Querschnittfläche und/oder eine unterschiedliche Höhe, gemessen von der Bodenfläche der angrenzenden Senkungen, aufweisen.

[0015] Alternativ oder zusätzlich kann es vorgesehen sein, dass die Querschnittfläche und/oder die Höhe einer Erhebung im Verlauf der Erhebung variiert.

[0016] Erfindungsgemäß wird die Tiefe der Rillenstrukturen, die durch diese Elektrode erzeugt werden, durch die Stromdichte gesteuert, welche die Rate des Materialabtrags beim Werkstück bestimmt. Durch die Formgebung der Querschnittfläche der Erhebungen des Elektrodenkerns und/oder durch die Höhe der Erhebungen gemessen von der Bodenfläche der angrenzenden Senkungen kann der elektrische Widerstand der einzelnen Erhebungen bestimmt bzw. eingestellt werden und somit auch die relative Stromdichte der durch die Erhebungen gebildeten elektrisch leitenden Bereiche der Elektrode.

[0017] Die Elektrode selbst weist eine glatte Oberfläche auf, und es ist insbesondere vorgesehen, dass der Abstand zwischen der Elektrode und den zu bearbeitenden Flächen des Werkstücks, d.h. der Arbeitsspalt, vorzugsweise überall gleich groß ist. Die Materialabtragsrate am Werkstück wird erfindungsgemäß lediglich durch die Querschnittflächen der Erhebungen und/oder deren Höhe bestimmt, die wiederum die elektrische Leitfähigkeit der durch die Erhebungen gebildeten elektrisch leitenden Bereiche der Elektrode bestimmen.

[0018] Erfindungsgemäß sind insbesondere die Querschnittflächen der Erhebungen unterschiedlich groß. Es können auch die Höhe und/oder Breite der Querschnittflächen der Erhebungen unterschiedlich groß sein. Die Querschnittflächen der Erhebungen können dieselbe oder eine unterschiedliche Form aufweisen und beispielsweise im Querschnitt rechteckig, trapezförmig oder stufenförmig bzw. terrassenförmig ausgebildet sein.

[0019] Zur lokalen Erhöhung der erzielbaren Stromdichte an der Oberfläche der Erhebungen kann es vorgesehen sein, dass die Breite der Querschnittfläche der Erhebungen im Bereich der Bodenfläche der angrenzenden Senkungen größer ist als die Breite im Bereich der Oberfläche der Elektrode. Dadurch wird der elektrische Widerstand der Erhebungen möglichst gering gehalten.

[0020] Eine Verringerung der lokalen Stromdichte an der Oberfläche der Erhebungen kann andererseits dadurch erreicht werden, dass die Breite der Querschnittfläche der Erhebungen im Bereich der Bodenfläche der angrenzenden Senkungen kleiner ist als die Breite im Bereich der Oberfläche der Elektrode. Dies erhöht den relativen elektrischen Widerstand der Erhebungen.

[0021] Vorzugsweise sind die Erhebungen in Form von länglichen Rippen und die Senkungen in Form von Rillen ausgebildet. Die Erfindung ist jedoch nicht auf diese Formgebung beschränkt. Es können auch andere Formen wie beispielsweise kreisförmige Strukturen, mehreckige Strukturen, rechteckige Strukturen oder wellenförmige Strukturen vorgesehen sein.

[0022] Die Erfindung bezieht sich insbesondere auch auf ein Werkzeug zur Bearbeitung von Lagerflächen eines fluiddynamischen Lagers, das durch eine Elektrode mit den oben beschriebenen Merkmalen gekennzeichnet ist.

[0023] Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Aufbringen von unterschiedlich tiefen Rillenstrukturen auf die Lagerfläche eines fluiddynamischen Lagers, wobei eine Elektrode mit den oben beschriebenen Merkmalen verwendet wird.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0024] Fig. 1 zeigt einen Schnitt durch einen Spindelmotor mit fluiddynamischem Lagersystem und Lagerrillenstrukturen.

[0025] Fig. 2 zeigt einen Schnitt durch die Oberfläche einer ECM-Elektrode gemäß einer ersten Ausgestaltung der Erfindung.

[0026] Fig. 3 zeigt einen Schnitt durch die Oberfläche einer ECM-Elektrode gemäß einer zweiten Ausgestaltung der Erfindung.

[0027] Fig. 4 zeigt einen Schnitt durch die Oberfläche einer ECM-Elektrode gemäß einer dritten Ausgestaltung der Erfindung.

[0028] Fig. 5 zeigt einen Schnitt durch die Oberfläche einer ECM-Elektrode gemäß einer vierten Ausgestaltung der Erfindung.

[0029] Fig. 6 zeigt einen Schnitt durch die Oberfläche einer ECM-Elektrode gemäß einer fünften Ausgestaltung der Erfindung.

BESCHREIBUNG VON BEVORZUGTEN AUSGESTALTUNGEN DER ERFINDUNG

[0030] Fig. 1 zeigt einen Schnitt durch einen Spindelmotor mit einem fluiddynamischen Lager-

system. Der Spindelmotor umfasst eine feststehende Basisplatte 10 mit einer zylindrischen Öffnung, in welcher eine Lagerbuchse 12 befestigt ist. Die Lagerbuchse 12 weist eine axiale, zylindrische Lagerbohrung auf, in welcher eine Welle 14 drehbar aufgenommen ist. Zwischen dem Innendurchmesser der Lagerbohrung und dem etwas kleineren Außendurchmesser der Welle 14 ist ein axial verlaufender Abschnitt 18a eines Lagerspalts 18 gebildet, der mit einem Lagerfluid, beispielsweise einem Schmieröl, gefüllt ist. Entsprechende Lagerflächen an der Wandung der Lagerbohrung der Lagerbuchse 12 bilden zusammen mit zugeordneten Lagerflächen der Welle 12 zwei fluiddynamische Radiallager 24, 26, die durch entsprechende Radiallagerrillen 24a, 26a gekennzeichnet sind. Die Radiallagerrillen 24a, 26a sind auf der Oberfläche der Lagerbohrung und/oder der Oberfläche der Welle 14 angeordnet. Die Radiallagerrillen 24a, 26a werden vorzugsweise durch ein elektrochemisches Abtragsverfahren in die Oberfläche der Lagerbuchse 12 oder die Oberfläche der Welle 14 eingebracht.

[0031] Wenn die Welle 14 in der Lagerbuchse 12 in Drehung versetzt wird, üben die Radiallagerrillen 24a, 26a eine Pumpwirkung auf das im axial verlaufenden Abschnitt 18a des Lagerspalts 18 befindliche Lagerfluid aus. Auf diese Weise entsteht im Lagerspalt 18 ein hydrodynamischer Druck, der die Radiallager 24, 26 tragfähig macht. Solange sich die Welle 14 in der Lagerbohrung dreht, wird diese durch den durch die Radiallagerrillen 24a, 26a erzeugten fluiddynamischen Druck stabilisiert und läuft berührungslos in der Lagerbohrung, getrennt durch den Lagerspalt 18. Die beiden Radiallager 24, 26 sind durch einen Bereich mit vergrößerter Lagerspaltbreite, dem so genannten Separatorspalt 28, axial voneinander getrennt.

[0032] Die Radiallagerrillenstrukturen 24a des oberen Radiallagers 24 sind vorzugsweise sinusförmig ausgebildet und asymmetrisch bezüglich einer in Umfangsrichtung der Welle 14 bzw. der Lagerbohrung verlaufenden Apexlinie ausgebildet. Dadurch erzeugen die Radiallagerrillen 24a keine gleichmäßige Pumpwirkung in beide Richtungen des axialen Abschnitts 18a des Lagerspalts 18, sondern eine gerichtete Pumpwirkung, die überwiegend nach unten in Richtung des zweiten Radiallagers 26 gerichtet ist. Das zweite Radiallager 26 umfasst Radiallagerrillenstrukturen 26a, die beispielsweise symmetrisch zur Apexlinie ausgebildet sind, so dass das zweite Radiallager 26 eine gleichmäßige Pumpwirkung auf das Lagerfluid in beide Richtungen des axialen Abschnitts 18a des Lagerspalts 18 erzeugt.

Durch die nach unten gerichtete Pumpwirkung des oberen Radiallagers 24 ist eine Fließrichtung des Lagerfluids im Lagerspalt 18 nach unten in Richtung der Druckplatte 20 gegeben.

[0033] Die Druckplatte 20 ist an einem Ende der Welle 14 angeordnet und auf die Welle 14 aufgepresst oder alternativ einteilig mit der Welle 14 ausgebildet. Gegenüberliegend der Druckplatte 20 ist die Lagerbuchse 12 durch eine Abdeckplatte 22 verschlossen. Sowohl die Druckplatte 20 als auch die Abdeckplatte 22 sind in entsprechenden Aussparungen der Lagerbuchse 12 konzentrisch zur Lagerbohrung aufgenommen. Die obere Stirnseite der Druckplatte 20 bildet zusammen mit einer gegenüberliegenden Fläche der Lagerbuchse 12 ein erstes Axiallager 30 aus. Die untere Stirnseite der Druckplatte 20 bildet zusammen mit einer gegenüberliegenden Fläche der Abdeckplatte 22 ein zweites Axiallager 32 aus. Die Axiallager 30, 32 umfassen Axiallagerrillen 30a, 32a (nicht dargestellt), die auf den Lagerflächen der Druckplatte 20 und/oder der Lagerbuchse 12 beziehungsweise der Druckplatte 20 und/oder der Abdeckplatte 22 angeordnet sind. Die Axiallagerrillen 30a, 32a sind beispielsweise spirallrillenförmig oder aber fischgrätförmig ausgebildet.

[0034] Wenn die Druckplatte 20 zusammen mit der Welle 14 in Rotation versetzt wird, üben die Axiallagerrillen 30a des ersten Axiallagers 30 eine Pumpwirkung auf das in einem ersten radialen Abschnitt 18b des Lagerspalts 18 befindliche Lagerfluid aus. Im radialen Abschnitt 18b des Lagerspalts 18 baut sich ein hydrodynamischer Druck auf, so dass das Axiallager 30 tragfähig wird. Gleichzeitig üben die Axiallagerrillen 32a des zweiten Axiallagers 32 eine Pumpwirkung auf das in einem zweiten radialen Abschnitt 18c des Lagerspalts 18 befindliche Lagerfluid aus. Im radialen Abschnitt 18c des Lagerspalts 18 baut sich ein hydrodynamischer Druck auf, so dass das Axiallager 32 tragfähig wird. Die beiden Axiallager 30, 32 wirken insofern gegeneinander, als dass die durch die Axiallager 30, 32 erzeugten Lagerkräfte axial gegeneinander gerichtet sind, so dass die Druckplatte 20 im Wesentlichen axial mittig in der vorgesehenen Aussparung der Lager-

buchse 12 positioniert wird und das Lagerfluid um die Druckplatte 20 herum fließen kann. Die Axiallagerrillen 30a, 32a des ersten und des zweiten Axiallagers 30, 32 werden vorzugsweise ebenfalls mittels eines elektrochemischen Abtragsverfahrens in die Lagerflächen der Axiallager 30, 32 eingebracht.

[0035] Oberhalb des ersten Radiallagers 24 ist das offene Ende des Lagerspalts 18 durch eine Dichtung, beispielsweise einen kapillaren Dichtungsspalt 34, abgedichtet. Der Dichtungsspalt 34 wird gebildet durch eine äußere Umfangsfläche der Welle 14 und eine innere Umfangsfläche der Lagerbuchse 12. Die innere Umfangsfläche der Lagerbuchse 12 ist vorzugsweise abgeschrägt, so dass der Dichtungsspalt 34 einen im Wesentlichen konischen Querschnitt aufweist. Der Dichtungsspalt 34 ist unmittelbar mit dem Lagerspalt 18 verbunden und anteilig mit Lagerfluid gefüllt.

[0036] Das freie Ende der Welle 14 ist mit einer Nabe 16 verbunden. Die Nabe 16 ist entsprechend dem Zweck des Spindelmotors ausgebildet und im vorliegenden Beispiel aus Aluminium gefertigt. Ist der Spindelmotor als Antrieb eines Festplattenlaufwerks gedacht, werden auf der Nabe 16 eine oder mehrere Speicherplatten (nicht dargestellt) des Festplattenlaufwerks angeordnet und befestigt.

[0037] An einem inneren, unteren Rand der Nabe 16 ist ein ringförmiger Rotormagnet 40 mit einer Mehrzahl von permanentmagnetischen Polpaaren angeordnet. Der Rotormagnet 40 liegt an einem Rückschlussring 38 an. Dieser Rückschlussring kann optional entfallen, wenn die Nabe aus ferromagnetischem Stahl gefertigt ist. Radial gegenüberliegend dem Rotormagneten 40 ist an der Basisplatte 10 eine Statoranordnung 36 befestigt, die durch einen radialen Luftspalt von dem Rotormagneten 40 getrennt ist. Die Statoranordnung 36 weist entsprechende Statorwicklungen auf, die entsprechend mit Strom versorgt ein elektromagnetisches Wechselfeld erzeugen, so dass der Rotor, bestehend aus der Nabe 16, Welle 14 und Rotormagneten 40, in Drehung versetzt wird.

[0038] Fig. 2 zeigt einen Schnitt durch einen Teil des Elektrodenkörpers 48 einer Elektrode zur elektrochemischen Bearbeitung eines Werkstücks, wobei der Elektrodenkörper 48 einen Elektrodenkern 50 umfasst, der aus elektrisch gut leitendem Material besteht. Beispielsweise ist der Elektrodenkörper 48 zylindrisch ausgebildet, wie es aus dem Stand der Technik bekannt ist. Zur Herstellung von Axiallagerstrukturen werden auch Elektroden mit kreisförmigem oder ringförmigem Elektrodenkörper verwendet, welche ebenfalls von der Erfindung umfasst sind.

[0039] In den Elektrodenkern 50 sind eine Reihe von Erhebungen 50a bzw. Vertiefungen 50b eingearbeitet, wobei die Vertiefungen 50b mit einem elektrisch isolierenden Material 52 gefüllt sind. Das elektrisch isolierende Material 52 reicht bis zur Oberfläche der Erhebungen 50a, sodass sich eine glatte Oberfläche 54 des Elektrodenkörpers 48 ergibt. Die Oberfläche 54 des Elektrodenkörpers 48 weist dabei elektrisch leitende Bereiche aus dem elektrisch leitenden Material der Erhebungen 50a und elektrisch isolierende Bereiche aus dem elektrisch isolierenden Material 52 auf.

[0040] In der Ausgestaltung gemäß Fig. 2 sind die Erhebungen 50a, 50a' unterschiedlich hoch bzw. die Vertiefungen 50b unterschiedlich tief ausgebildet, während die Breite b der oberen Fläche der Erhebungen 50a, 50a' an der Oberfläche 54 der Elektrode gleich groß ist. Durch die unterschiedliche Höhe der Erhebungen 50a, 50a' weisen diese einen unterschiedlichen elektrischen Widerstand auf. Je höher die Erhebungen 50a, 50a' sind, desto größer ist der elektrische Widerstand zwischen dem Fuß und der Oberseite der Erhebungen 50a. Wird an die Elektrode ein elektrischer Strom angelegt, so ergeben sich an der Oberseite der Erhebungen 50a, 50a' unterschiedliche Stromdichten aufgrund des unterschiedlichen Widerstands der Erhebungen 50a, 50a', sodass im zu bearbeitenden Werkstück unterschiedlich tiefe Rillenstrukturen erzeugt werden.

[0041] Fig. 3 zeigt eine andere Ausgestaltung einer Elektrode gemäß der Erfindung mit einem Elektrodenkern 50, der entsprechende Erhebungen 50a und dazwischen liegende Senkungen 50b aufweist. Diese Senkungen 50b sind mit einem elektrisch isolierenden Material 52 aufgefüllt. Während ein Teil der Erhebungen 50a im Querschnitt etwa rechteckig ausgebildet ist, ist ein an-

derer Teil der Erhebungen 50a' im Querschnitt so gestaltet, dass sich ausgehend vom Elektrodenkern 50 zunächst ein schmaler Abschnitt nach oben erstreckt, der sich dann in Richtung der Oberfläche 54 der Elektrode im Querschnitt verbreitert. Somit ändert sich der Querschnitt der Erhebungen 50a' und vergrößert sich ausgehend vom Elektrodenkern 50 nach oben bis zur Oberfläche 54 des Elektrodenkörpers 48. Die Breite b der Erhebungen an der Elektrodenoberfläche 54 ist dabei gleich groß. Durch den sich zunächst verengenden und dann erweiternden Querschnitt haben die Erhebungen 50a' einen größeren elektrischen Widerstand als die Erhebungen 50a, sodass an der Oberfläche der Elektrode 54 die Stromdichte im Bereich der Erhebungen 50a' kleiner ist als im Bereich der Erhebungen 50a.

[0042] Fig. 4 zeigt eine weitere Ausgestaltung einer Elektrode gemäß der Erfindung, bei der vom Elektrodenkern 50 ausgehende Erhebungen 50a gebildet sind, die im Querschnitt rechteckförmig sind, während weitere Erhebungen 50a' gebildet sind, die im Querschnitt trapezförmig ausgebildet sind, wobei die bodenseitige Fläche des Trapezes kleiner ist als die Fläche an der Oberseite 54 des Elektrodenkörpers 48. Somit ergeben sich unterschiedliche Breiten b_1 , b_2 der elektrisch leitenden Bereiche an der Oberfläche 54 des Elektrodenkörpers 48, wobei die im Querschnitt rechteckigen Erhebungen 50a eine geringere Breite b_1 aufweisen, während die im Querschnitt trapezförmigen Erhebungen 50a' eine größere Breite b_2 aufweisen. Während des elektrochemischen Abtragsverfahrens ergibt sich mit einer solchen Elektrode aufgrund des trapezförmigen Querschnitts der Erhebungen 50a' und deren größerer Breite b_2 an der Oberfläche der Elektrode 54 eine geringere Stromdichte als im Bereich rechteckförmigen Erhebungen 50a.

[0043] Fig. 5 zeigt eine Ausgestaltung einer Elektrode gemäß der Erfindung, bei der die Erhebungen 50a im Querschnitt etwa rechteckförmig ausgebildet sind, während die Erhebungen 50a' eine Stufe aufweisen, so dass sich deren Querschnitt in Richtung der Oberfläche 54 des Elektrodenkörpers 48 verkleinert. Die Erhebungen 50a haben an der Oberfläche 54 des Elektrodenkörpers 48 eine Breite b_1 , während die Erhebungen 50a' an der Oberfläche 54 der Elektrode eine geringere Breite b_3 aufweisen. Wird über die Elektrode ein Stromkreis geschlossen, so ergibt sich an der Oberfläche 54 des Elektrodenkörpers 48 im Bereich der im Querschnitt rechteckigen Erhebungen 50a mit einer Breite b_1 eine geringere Stromdichte als im Bereich der im Querschnitt stufenförmigen Erhebungen 50a', die an der Oberfläche 54 lediglich eine Breite b_3 aufweisen.

[0044] Fig. 6 zeigt schließlich eine Ausgestaltung einer Elektrode gemäß der Erfindung mit im Querschnitt rechteckförmigen Erhebungen 50a mit einer Breite b und im Querschnitt tropfenförmigen oder stufenpyramidenförmigen Erhebungen 50a'. Die Erhebungen 50a und 50a' sind beispielsweise derart ausgebildet, dass sie an der Oberfläche 54 des Elektrodenkörpers 48 dieselbe Breite b aufweisen. Durch den erhöhten Querschnitt der Erhebungen 50a' ausgehend vom Elektrodenkern 50 stellt sich im Betrieb der Elektrode im Bereich der Erhebungen 50a' eine größere Stromdichte ein als im Bereich der Erhebungen 50a.

[0045] Durch erfindungsgemäße Variation der Länge und/oder des Querschnitts der Erhebungen 50a, 50a', welche an der Oberfläche 54 des Elektrodenkörpers 48 die elektrisch leitenden Bereiche bilden, lässt sich an der Oberfläche 54 des Elektrodenkörpers 48 die relative Stromdichte beliebig abstimmen, und es lassen sich in einem einzigen Arbeitsgang Rillenstrukturen unterschiedlicher Tiefe auf dem zu bearbeitenden Werkstück erzeugen. Die Breite des mit dem Elektrolyt gefüllten Arbeitsspalts zwischen der Oberfläche 54 des Elektrodenkörpers 48 und dem Werkstück muss hierzu nicht verändert werden. Erfindungsgemäß ist es möglich, in einem Arbeitsgang beispielsweise mehrere Rillenstrukturen mit unterschiedlicher Tiefe zu erzeugen. Es ist aber auch möglich, die Erhebungen 50a, 50a' derart auszubilden, dass die Tiefe innerhalb einer einzelnen Rillenstruktur variiert.

LISTE DER BEZUGSZEICHEN

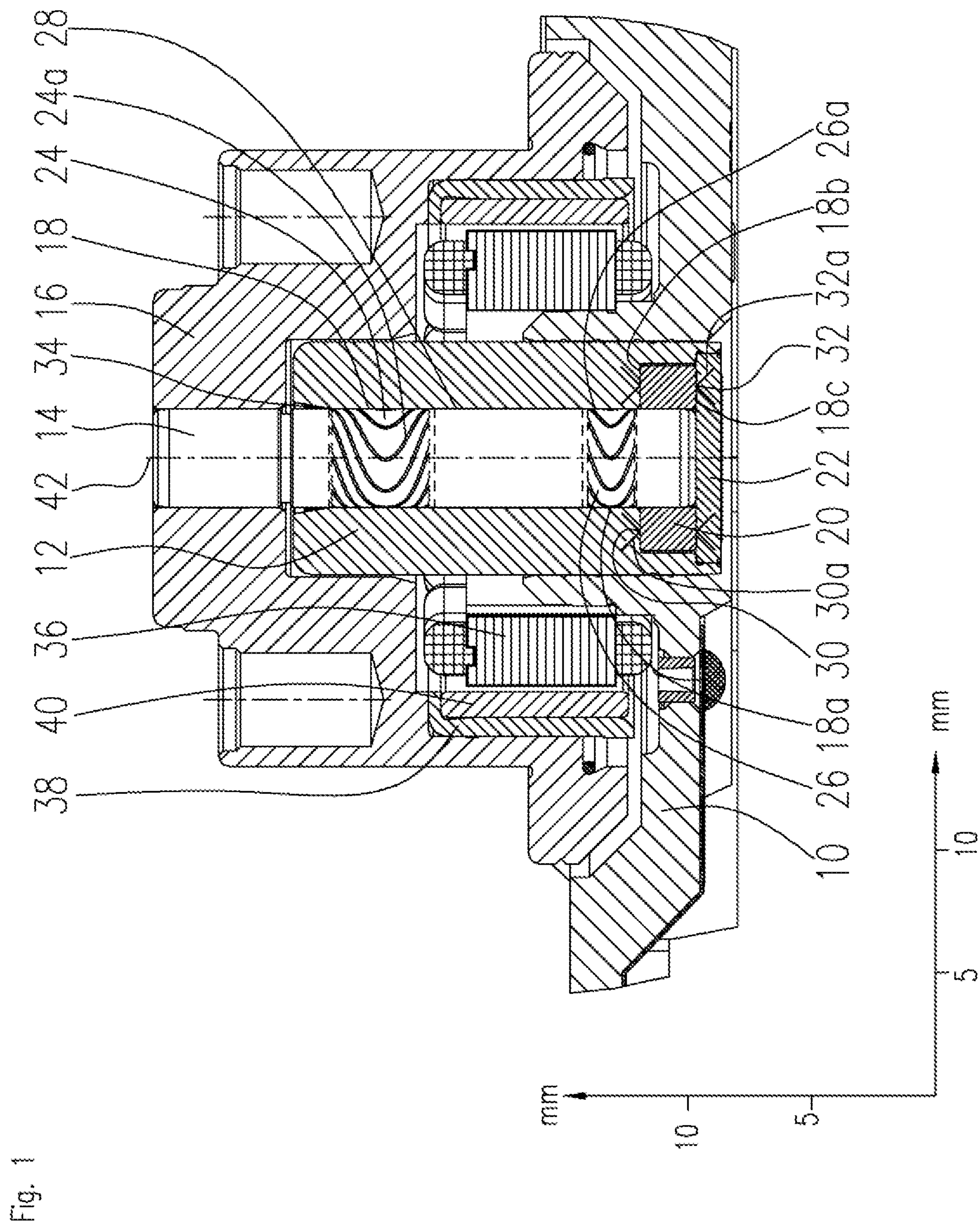
10	Basisplatte
12	Lagerbuchse
14	Welle
16	Nabe
18	Lagerspalt
18a	axialer Abschnitt des Lagerspalts
18b	radialer Abschnitt des Lagerspalts
18c	radialer Abschnitt des Lagerspalts
20	Druckplatte
22	Abdeckplatte
24	Radiallager
24a	Radiallagerrillen
26	Radiallager
26a	Radiallagerrillen
28	Separatorspalt
30	Axiallager
30a	Axiallagerrillen
32	Axiallager
32a	Axiallagerrillen
34	Dichtungsspalt
36	Statoranordnung
38	Rückschlussring
40	Rotormagnet
42	Drehachse
48	Elektrodenkörper
50	Elektrodenkern
50a	Erhebungen
50b	Senkungen
52	elektrisch isolierendes Material
54	Oberfläche des Elektrodenkörpers

Patentansprüche

1. Elektrode zur elektrochemischen Bearbeitung eines metallischen Werkstücks mit einem Elektrodenkörper (48), bestehend aus einem Elektrodenkern (50) aus einem elektrisch leitenden Material, wobei die Oberfläche des Elektrodenkerns (50) mehrere Erhebungen (50a, 50a') und Senkungen (50b) aufweist, wobei die Senkungen (50b) bis zur Oberkante der Erhebungen mit einem elektrisch isolierenden Material (52) aufgefüllt sind, so dass der Elektrodenkörper eine glatte Oberfläche (54) mit elektrisch leitenden Bereichen aus dem elektrisch leitenden Material und elektrisch isolierenden Bereichen aus dem elektrisch isolierenden Material aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest zwei der mehreren Erhebungen (50a, 50a') des Elektrodenkerns (50) unterschiedliche Höhe gemessen von der Bodenfläche der angrenzenden Senkungen (50b) aufweisen, oder dass die Höhe einer Erhebung (50, 50a') im Verlauf der Erhebung variiert, oder dass zumindest bei einer der Erhebungen (50a') die Breite (b , b_2 , b_3) der Querschnittsfläche im Höhenverlauf im Gegensatz zu mindestens einer weiteren Erhebung (50a) variiert.
2. Elektrode nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Querschnittsflächen der Erhebungen (50a, 50a') unterschiedlich groß sind.
3. Elektrode nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Höhe und/oder Breite der Querschnittsflächen der Erhebungen (50a, 50a') unterschiedlich groß ist.
4. Elektrode nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Querschnittsflächen der Erhebungen (50a, 50a') dieselbe oder eine unterschiedliche Form aufweisen und wahlweise rechteckig, trapezförmig oder stufenförmig ausgebildet sind.
5. Elektrode nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Breite der Querschnittsfläche der Erhebungen (50a, 50a') im Bereich der Bodenfläche der angrenzenden Senkungen (50b) größer ist als die Breite im Bereich der Oberfläche (54) des Elektrodenkörpers (48).
6. Elektrode nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Breite der Querschnittsfläche der Erhebungen (50a, 50a') im Bereich der Bodenfläche der angrenzenden Senkungen (50b) kleiner ist als die Breite im Bereich der Oberfläche (54) des Elektrodenkörpers (48).
7. Elektrode nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Erhebungen (50a, 50a') in Form von länglichen Rippen und die Senkungen (50b) in Form von Rillen ausgebildet sind.
8. Werkzeug zur Bearbeitung von Lagerflächen eines fluiddynamischen Lagers, **gekennzeichnet durch** eine Elektrode nach einem der Ansprüche 1 bis 7.
9. Verfahren zum Aufbringen von unterschiedlich tiefen Rillenstrukturen auf die Lagerflächen eines fluiddynamischen Lagers, **gekennzeichnet durch** die Verwendung einer Elektrode nach einem der Ansprüche 1 bis 7.

Hierzu 3 Blatt Zeichnungen

1/3



2/3

Fig. 2

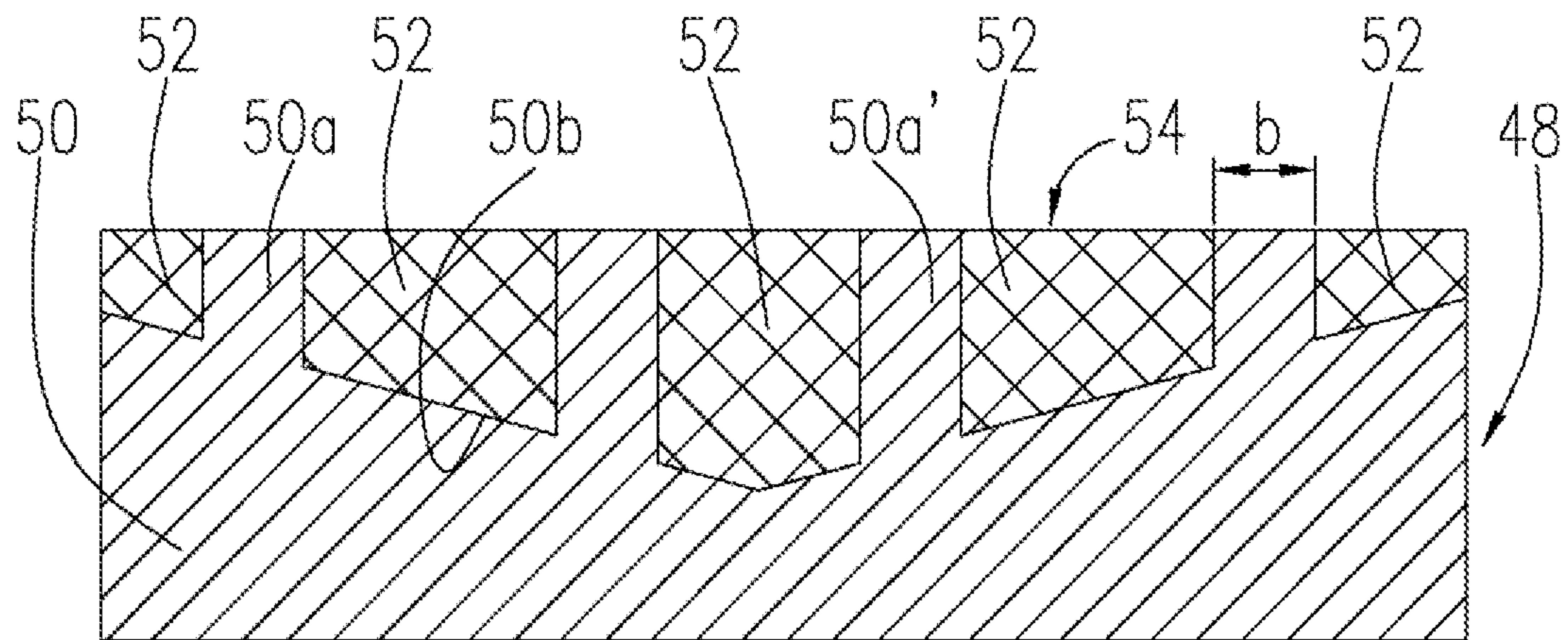


Fig. 3

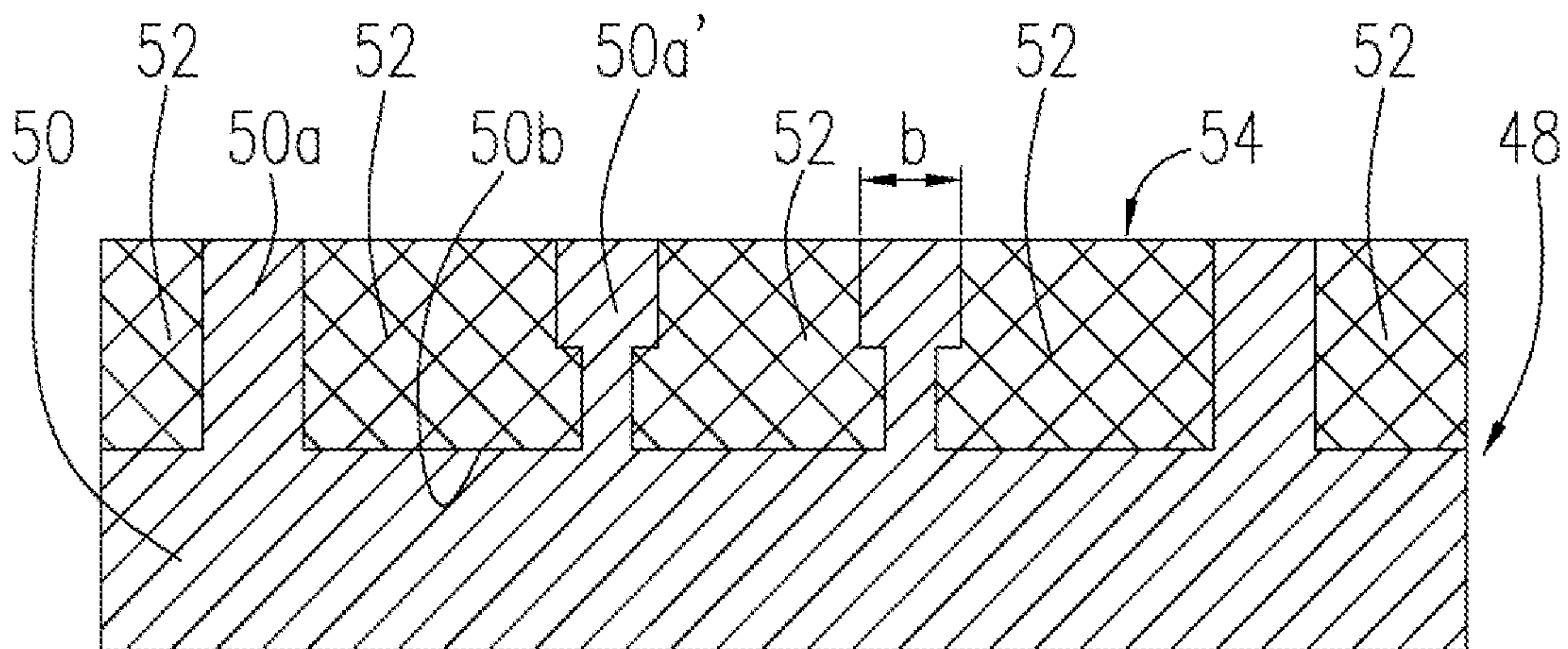
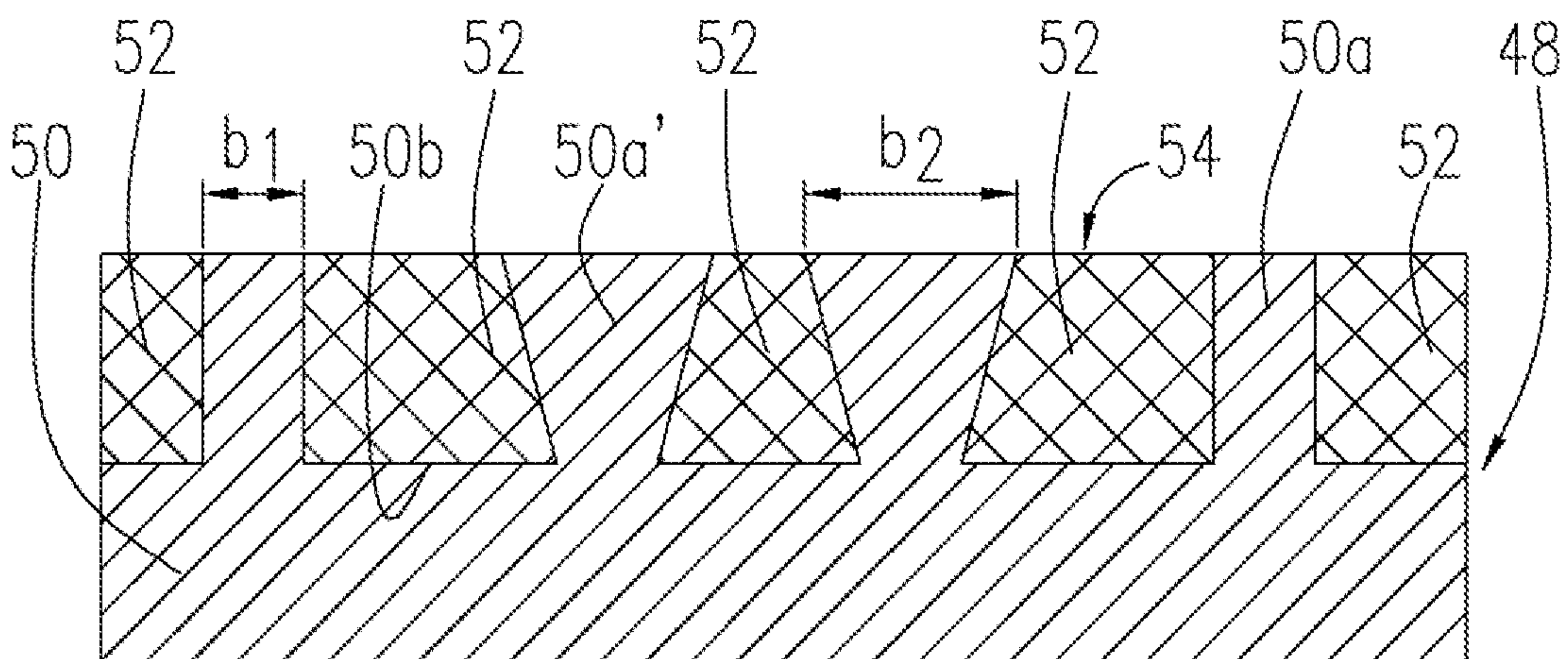


Fig. 4



3/3

Fig. 5

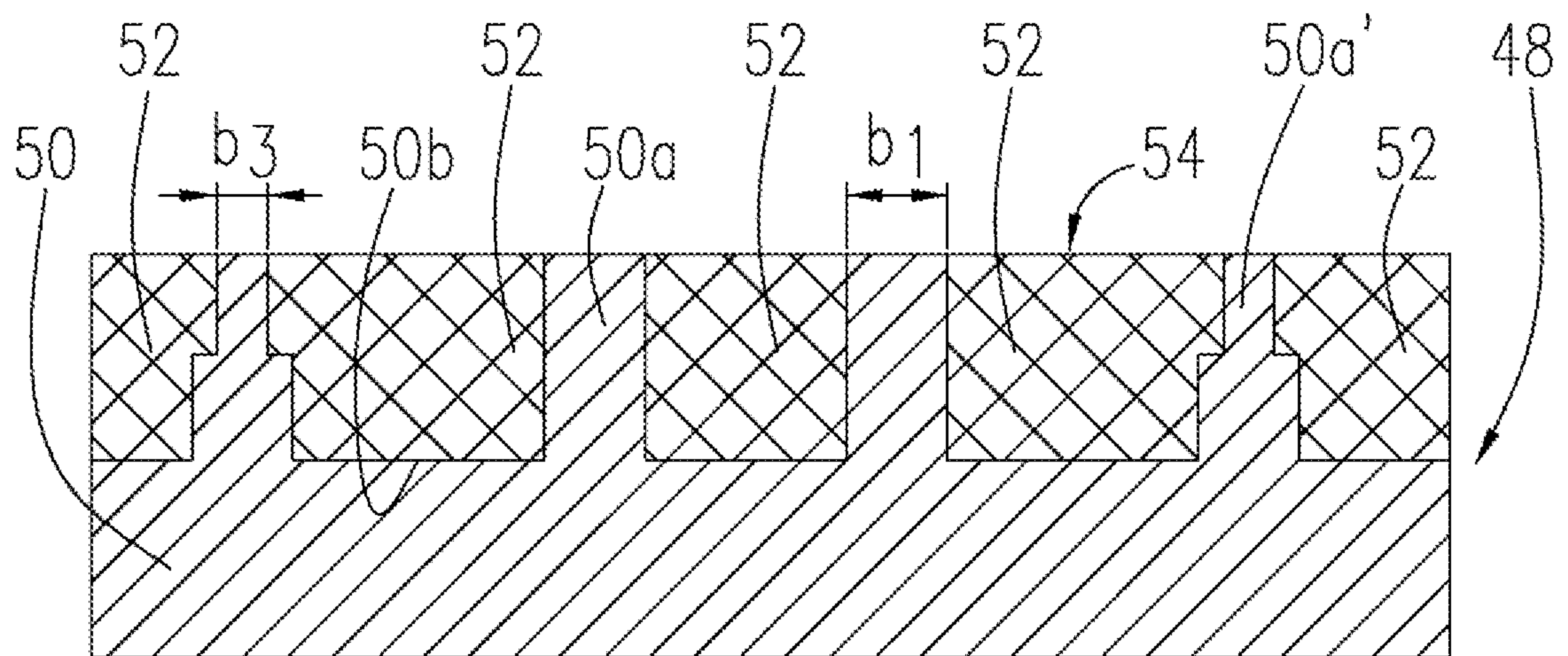


Fig. 6

