



(10) **DE 10 2011 084 374 B4** 2024.08.01

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2011 084 374.4**
(22) Anmeldetag: **12.10.2011**
(43) Offenlegungstag: **19.04.2012**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **01.08.2024**

(51) Int Cl.: **B23Q 11/00** (2006.01)
B23Q 17/09 (2006.01)
G05B 19/404 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
2010-230685 13.10.2010 JP

(73) Patentinhaber:
Okuma Corp., Aichi, JP

(74) Vertreter:
**Prüfer & Partner mbB Patentanwälte
Rechtsanwalt, 81479 München, DE**

(72) Erfinder:
Ueno, Hiroshi, Aichi, JP

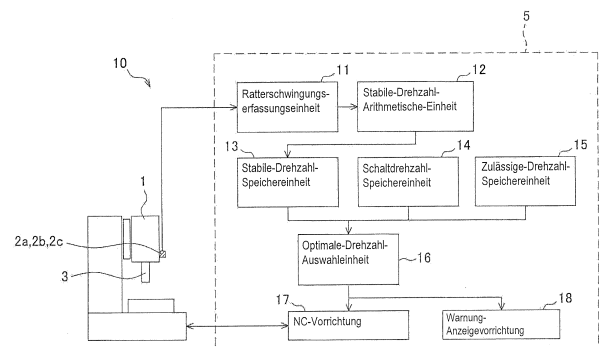
(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE 10 2008 052 954 A1
JP 2003- 340 627 A

(54) Bezeichnung: **Schwingungsunterdrückungsverfahren und Schwingungsunterdrückungsvorrichtung zur Verwendung in einer Werkzeugmaschine**

(57) Hauptanspruch: Schwingungsunterdrückungsverfahren, das in einer Werkzeugmaschine, die eine Rotationswelle (3) zum Nutzen beim Rotieren eines Werkzeugs oder eines Werkstücks hat, zum Unterdrücken von Ratterschwingungen, die während einer Rotation der Rotationswelle (3) erzeugt werden, ausgeführt wird, dadurch gekennzeichnet, dass das Schwingungsunterdrückungsverfahren aufweist: einen ersten Schritt eines Erfassens von Ratterschwingungen unter Verwendung einer Ratterschwingungserfassungseinheit (11);

einen zweiten Schritt eines Speicherns von einer Mehrzahl von stabilen Drehzahlen, bei denen erwartet wird, dass die Ratterschwingungen unterdrückt werden, und von zumindest einer Schaltdrehzahl, jenseits der sich eine dynamische Charakteristik eines Rotationswellensystems ändert; einen dritten Schritt eines Auswählens einer optimalen Drehzahl aus der Mehrzahl von stabilen Drehzahlen, wobei die optimale Drehzahl eine Drehzahl ist, auf die eine Drehzahl der Rotationswelle (3) änderbar ist, ohne die Schaltdrehzahl zu überschreiten; und einen vierten Schritt eines Änderns der Drehzahl der Rotationswelle (3) auf die optimale Drehzahl.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Schwingungsunterdrückungsverfahren zur Verwendung in einer Werkzeugmaschine, die einen Bearbeitungsvorgang an einem Werkstück mit einem Werkzeug ausführt, während sie das Werkzeug oder das Werkstück rotiert, zum Unterdrücken von Ratterschwingungen, die während des Bearbeitungsvorgangs erzeugt werden, und eine Schwingungsunterdrückungsvorrichtung zum Ausführen eines solchen Schwingungsunterdrückungsverfahrens.

[0002] Ein Beispiel eines bislang bekannten Schwingungsunterdrückungsverfahrens zur Verwendung in einer Werkzeugmaschine, die einen Bearbeitungsvorgang mit einer rotierenden Rotationswelle (d.h. Hauptspindel), ausführt, ist in der Offenlegungsschrift der japanischen Patentanmeldung 2003-340627 offenbart. In diesem Schwingungsunterdrückungsverfahren werden Eigenschwingungen von Systemen (z.B. einem Werkzeug, einem Werkstück, etc.), in dem die Ratterschwingungen auftreten, bestimmt, um Ratterschwingungen, die eine Verschlechterung der Genauigkeit einer fertig gestellten Oberfläche des Werkstücks, eine Zerstörung des Werkzeugs und andere schädliche Effekte verursachen würden, zu unterdrücken. Dann werden die bestimmten Werte mit 60 multipliziert und durch die Anzahl der Werkzeugspannuten und eine vorbestimmte Ganzzahl geteilt, um einen Wert zu erhalten, von dem angenommen wird, dass er eine stabile Drehzahl ist, so dass die Ratterschwingungen, die während des Bearbeitungsvorgangs auftreten würden, durch Ausführen des Vorgangs mit dieser stabilen Drehzahl unterdrückt werden können. Es ist zu verstehen, dass die erhaltene stabile Drehzahl mehrere Werte, so wie eine erste Geschwindigkeit, die mit einer Ganzzahl „1“ erhalten wird, eine zweite Geschwindigkeit, die mit einer Ganzzahl „2“ erhalten wird, und dergleichen, umfasst.

[0003] Viele der allgemein vorherrschenden in der Technik bekannten Werkzeugmaschinen wenden praktisch ein Verfahren an, Gänge entsprechend den Drehzahlen der Hauptspindel zu wechseln, um ein angemessenes Motordrehmoment über einen breiten Bereich von Drehzahlen der Hauptspindel zu erreichen. In Fällen, in denen eine höhere Drehzahl der Hauptspindel erforderlich ist, wenden auch viele bekannte Werkzeugmaschinen ein Verfahren zum Ändern einer Vorspannung von Lagerungen zum Lagern der Hauptspindel entsprechend den Drehzahlen der Hauptspindel an, um zu verhindern, dass die Hauptspindel durch Hitze beschädigt wird. Diese Verfahren des Wechselns der Gänge oder des Ändern der Vorlast der Lagerungen würden die dynamischen Eigenschaften des Hauptspindelsystems entsprechend den Drehzahlen der Hauptspindel verändern.

[0004] Rückbezogen auf die Offenlegungsschrift der japanischen Patentanmeldung 2003-340627 werden die zum Unterdrücken von Ratterschwingungen erhaltenen stabilen Drehzahlen von den „Eigenfrequenzen von Systemen, in denen die Ratterschwingungen auftreten“, wie oben beschrieben, abgeleitet. Da sich die dynamischen Eigenschaften des Hauptspindelsystems entsprechend den Drehzahlen der Hauptspindel ändern, würden möglicherweise einige der erhaltenen stabilen Drehzahlen zu Drehzahlen werden, bei denen die Ratterschwingungen aufgrund der Änderung der dynamischen Eigenschaften des Hauptspindelsystems nicht unterdrückt werden könnten, wenn die Drehzahl der Hauptspindel auf eine solche Möchtegern-stabile Drehzahl geändert wird. Als ein Ergebnis scheitert das Verfahren möglicherweise dabei, in einigen Fällen zu verhindern, die Ratterschwingungen, selbst wenn die Drehzahl der Hauptspindel auf eine der erhaltenen stabilen Drehzahlen geändert wird.

[0005] Druckschrift DE 10 2008 052 954 A1 offenbart ein Schwingungsunterdrückungsverfahren für eine Werkzeugmaschine mit einer Drehwelle zum Unterdrücken einer Ratterschwingung, die dann erzeugt wird, wenn die Drehwelle gedreht wird. Das Verfahren weist die folgenden Schritte auf: Erfassen einer Zeitbereichsschwingung aufgrund der sich drehenden Drehwelle, Berechnen einer Ratterfrequenz und einer Frequenzbereichsschwingungsbeschleunigung bei der Ratterfrequenz auf der Grundlage der bei dem Erfassungsschritt erfassten Zeitbereichsschwingung, wobei, wenn die berechnete Frequenzbereichsschwingungsbeschleunigung einen vorbestimmten Schwellwert überschreitet, Bearbeitungsinformationen zumindest unter Verwendung der Ratterfrequenz berechnet und gespeichert werden, und wenn die vorherigen Bearbeitungsinformationen nicht gespeichert sind, eine stabile Drehzahl, die die Ratterschwingung der Drehwelle unterdrücken kann, unter Verwendung der berechneten Bearbeitungsinformationen berechnet wird, und wenn die vorherigen Bearbeitungsinformationen gespeichert sind, die stabile Drehzahl zumindest unter Verwendung der Bearbeitungsinformationen berechnet wird, und Steuern einer Drehzahl der Drehwelle auf die stabile Drehzahl, die in dem Berechnungsschritt berechnet wird.

[0006] Die vorliegende Erfindung wurde in einem Versuch getätigt, die vorgenannten Nachteile zu eliminieren und klarstellende, nicht beschränkende Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung überwinden die obigen Nachteile und andere, nicht oben beschriebene, Nachteile.

[0007] Die Aufgabe wird durch die Merkmale von Anspruch 1 und 5 gelöst. Vorteilhafte Weiterentwicklungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

[0008] Es ist ein Aspekt der vorliegenden Erfindung, ein Schwingungsunterdrückungsverfahren und eine Schwingungsunterdrückungsvorrichtung bereitzustellen, in denen eine geeignete stabile Drehzahl aus den erhaltenen stabilen Drehzahlen ausgewählt werden kann, ohne die dynamischen Eigenschaften des Hauptspindelsystems zu ändern, so dass Ratterschwingungen auf jeden Fall unterdrückt werden können.

[0009] (1) Spezieller ist ein Schwingungsunterdrückungsverfahren, das in einer Werkzeugmaschine, die eine Rotationswelle zur Nutzung beim Rotieren eines Werkzeugs oder eines Werkstücks hat, entsprechend eines Aspekts eines Verfahrens der vorliegenden Erfindung zum Unterdrücken von während einer Rotation der Rotationswelle erzeugten Ratterschwingungen ausgeführt wird, vorgesehen. Dieses Schwingungsunterdrückungsverfahren weist einen ersten Schritt eines Erfassens von Ratterschwingungen unter Verwendung einer Schwingungserfassungseinheit, einen zweiten Schritt eines Speicherns von einer Mehrzahl von stabilen Drehzahlen, bei denen erwartet wird, dass die Ratterschwingungen unterdrückt werden, und von zumindest eine Schaltdrehzahl, jenseits der sich eine dynamische Charakteristik des Systems der Rotationswelle ändert, einen dritten Schritt eines Auswählens einer optimalen Drehzahl aus der Mehrzahl von stabilen Drehzahlen, wobei die optimale Drehzahl eine Drehzahl ist, auf die die Rotationswelle änderbar ist, ohne die Schaltdrehzahl zu überschreiten, und einen vierten Schritt eines Ändern der Drehzahl der Rotationswelle auf die optimale Drehzahl, die in dem dritten Schritt ausgewählt wurde, auf.

[0010] (2) Das wie in (1) oben beschrieben konfigurierte Schwingungsunterdrückungsverfahren kann in dem zweiten Schritt weiterhin Schritte eines Bestimmens einer Ratterfrequenz der in dem ersten Schritt erfassten Ratterschwingungen und eines Bestimmens der Mehrzahl von stabilen Drehzahlen unter Verwendung der bestimmten Ratterfrequenz aufweisen.

[0011] (3) In der obigen Konfiguration (1), mit oder ohne dem zusätzlichen Merkmal (2), kann das Verfahren in dem zweiten Schritt weiterhin einen Schritt eines Speicherns einer oberen Grenzdrehzahl und/oder einer unteren Grenzdrehzahl für jeden Typ der Rotationswelle und/oder Typ des Werkzeugs oder Werkstücks aufweisen, wobei die in dem dritten Schritt auszuwählende optimale Drehzahl eine Drehzahl ist, auf die eine Drehzahl der Rotationswelle änderbar ist, ohne die Schaltdrehzahl zu überschreiten, und die innerhalb eines Bereiches ist, der durch die obere Grenzdrehzahl und/oder die untere Grenzdrehzahl definiert wird.

[0012] (4) In der obigen Konfiguration (1), mit oder ohne einem oder beiden der zusätzlichen Merkmale (2) und (3), kann das Verfahren in dem dritten Schritt weiterhin einen Schritt eines Anzeigens einer Warnung in einer Anzeigevorrichtung enthalten, wenn keine Drehzahl, auf die eine Drehzahl der Rotationswelle änderbar ist ohne die Schaltdrehzahl zu überschreiten, in der Mehrzahl der in dem zweiten Schritt gespeicherten stabilen Drehzahlen gefunden wird.

[0013] (5) In einem Aspekt einer Vorrichtung der vorliegenden Erfindung ist eine Schwingungsunterdrückungsvorrichtung, die in einer Werkzeugmaschine, die eine Rotationswelle zur Nutzung beim Rotieren eines Werkzeugs oder eines Werkstücks hat, zum Unterdrücken von Ratterschwingungen, die während einer Rotation der Rotationswelle erzeugt werden, vorgesehen ist, offenbart. Die Schwingungsunterdrückungsvorrichtung weist eine Schwingungserfassungseinheit, die konfiguriert ist, Ratterschwingungen zu erfassen, eine Speichereinheit, die konfiguriert ist, eine Mehrzahl von stabilen Drehzahlen, bei der die Ratterschwingungen vermutlich unterdrückt werden, und zumindest eine Schaltdrehzahl, jenseits der sich eine dynamische Charakteristik eines Systems der Rotationswelle ändert, zu speichern, eine Auswahleinheit der optimalen Drehzahl, die konfiguriert ist, eine optimale Drehzahl aus der Mehrzahl von stabilen Drehzahlen auszuwählen, wobei die optimale Drehzahl eine Drehzahl ist, auf die eine Drehzahl der Rotationswelle änderbar ist ohne die Schaltdrehzahl zu überschreiten, und eine Drehzahländerungseinheit auf, die konfiguriert ist, die Drehzahl der Rotationswelle auf die optimale Drehzahl, die in der Auswahleinheit der optimalen Drehzahl ausgewählt wurde, zu ändern.

[0014] Mit den oben beschriebenen Konfigurationen können, wie folgend, verschiedene vorteilhafte Effekte erwartet werden.

[0015] Entsprechend einem oder mehrerer Aspekte der vorliegenden Erfindung, wie oben insbesondere in (1) und (5) erwähnt, werden eine Mehrzahl von stabilen Drehzahlen und zumindest eine Schaltdrehzahl, jenseits der sich eine dynamische Charakteristik eines Systems der Rotationswelle ändert, gespeichert, dann wird eine optimale Drehzahl, die eine Drehzahl ist, auf die eine Drehzahl der Rotationswelle änderbar ist, ohne die Schaltdrehzahl zu überschreiten, aus der Mehrzahl von stabilen Drehzahlen ausgewählt, und die Drehzahl der Rotationswelle wird auf die ausgewählte optimale Drehzahl geändert. Dementsprechend können die Möglichkeiten des Ändern der Drehzahl der Rotationswelle auf eine solche Möchtegern-optimale Drehzahl, die die dynamische Charakteristik des Systems der Rotationswelle ändern würde, und somit dessen Änderung der Drehzahl zu dieser optimalen Drehzahl es unmöglich macht, Ratterschwingungen zu unterdrü-

cken, verhindert werden, so dass die Ratterschwingungen effektiver als in jedem bestehenden Verfahren unterdrückt werden können.

[0016] Mit der oben in (2) beschriebenen Konfiguration wird in dem zweiten Schritt eine Ratterfrequenz der in dem ersten Schritt erfassten Ratterschwingungen bestimmt und die Mehrzahl von zu speichernden stabilen Drehzahlen wird unter Verwendung der bestimmten Ratterfrequenz bestimmt. Die stabilen Drehzahlen werden basierend auf den aktuell auftretenden „Ratterschwingungen“ bestimmt. Dementsprechend können die stabilen Drehzahlen, die effektiver gegen die Ratterschwingungen sind, bestimmt werden. Weiterhin kann auf zum Beispiel eine aufwendige Vorrichtung für eine Impulsanregung verzichtet werden.

[0017] Mit der oben in (3) beschriebenen Konfiguration werden eine obere Grenzdrehzahl und/oder eine untere Grenzdrehzahl für jeden der Typen der Rotationswelle und/oder Typen des Werkzeugs oder des Werkstücks gespeichert, und die optimale Drehzahl ist eine Drehzahl, auf die eine Drehzahl der Rotationswelle änderbar ist, ohne die Schaltdrehzahl zu überschreiten, und die innerhalb eines Bereichs ist, der durch die obere Grenzdrehzahl und/oder die untere Grenzdrehzahl definiert wird. Daher kann die optimale Drehzahl unter Berücksichtigung der oberen Grenzdrehzahl und/oder der unteren Grenzdrehzahl für jeden der Typen der Rotationswelle und/oder der Typen des Werkzeugs oder Werkstücks ausgewählt werden.

[0018] Mit der oben in (4) beschriebenen Konfiguration wird in dem dritten Schritt eine Warnung in einer Anzeigevorrichtung angezeigt, wenn keine Drehzahl, auf die eine Drehzahl der Rotationswelle änderbar ist ohne die Schaltdrehzahl zu überschreiten, in der Mehrzahl der in dem zweiten Schritt gespeicherten stabilen Drehzahlen gefunden wird. Daher kann ein Bediener einfach das Auftreten der vorgenannten Situation erkennen und sich somit der Situation, z.B. durch Anhalten der Rotation der Rotationswelle annehmen, so dass eine Beschädigung des an der Rotationswelle angebauten Werkzeugs verhindert werden kann.

[0019] Die obigen Aspekte, andere Vorteile und weitere Merkmale der vorliegenden Erfindung werden durch genaues Beschreiben darstellender, nicht beschränkender Ausführungsformen davon unter Bezugnahme auf die beigelegten Zeichnungen deutlicher.

Fig. 1 ist ein Blockdiagramm einer Schwingungsunterdrückungsvorrichtung.

Fig. 2 ist eine von der Seite gesehene schematische Darstellung eines Rotationswellengehäu-

ses (für das Schwingungen zu unterdrücken sind).

Fig. 3 ist eine schematische Darstellung des Rotationswellengehäuses, wie in einer axialen Richtung davon gesehen.

Fig. 4 ist ein Diagramm, das schematisch das Verhältnis zwischen den stabilen Drehzahlen und der kritischen (oberen Grenz-) Schnitttiefe zeigt.

[0020] Ein Schwingungsunterdrückungsverfahren und eine Schwingungsunterdrückungsvorrichtung entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung werden im Detail unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben.

[0021] Eine Schwingungsunterdrückungsvorrichtung 10 ist eine Vorrichtung zum Unterdrücken von „Ratterschwingungen“, die an einer Hauptspindel (Rotationswelle) 3, die in einem Rotationswellengehäuse in einer solchen Weise vorgesehen ist, dass die Hauptspindel 3 um eine C-Achse rotierbar ist, auftreten. Die Schwingungsunterdrückungsvorrichtung 10 enthält Schwingungssensoren 2a-2c, die konfiguriert sind, Zeitbereichs-Schwingungsbeschleunigungen (d.h. Schwingungsbeschleunigungen auf der Zeitachse), die charakteristische Eigenschaften sind, über die an der rotierenden Hauptspindel 3 auftretende Schwingungen verfügen, zu erfassen. Weiterhin enthält die Schwingungsunterdrückungsvorrichtung 10 eine Steuerungsvorrichtung 5, die konfiguriert ist, die Ausgaben der Schwingungssensoren 2a-2c zu analysieren, die Anwesenheit oder Abwesenheit der „Ratterschwingungen“ zu bestimmen, und die Drehzahl der Hauptspindel 3 basierend auf den Ergebnissen der Bestimmung zu steuern. Innerhalb des Rotationswellengehäuses 1 sind eine Mehrzahl von Gängen (nicht gezeigt) zum Rotieren der Hauptspindel 3 und Lagerungen (nicht gezeigt), durch die die Rotationswelle 3 drehbar gelagert ist, vorgesehen.

[0022] Die Schwingungssensoren 2a-2c sind wie in den **Fig. 2** und **3** gezeigt, an dem Rotationswellengehäuse 1 montiert und so konfiguriert, dass ein Schwingungssensor eine Zeitbereichs-Schwingungsbeschleunigung in einer Richtung senkrecht zu Richtungen von Zeitbereichs-Schwingungsbeschleunigungen, die die anderen zwei Schwingungssensoren erfassen, erfasst. Zum Beispiel sind die Schwingungssensoren 2a-2c so positioniert, dass die Richtungen der durch die Schwingungssensoren 2a-2c erfassten Zeitbereichs-Schwingungsbeschleunigungen jeweils entlang einer X-Achsen-, Y-Achsen- und Z-Achsenrichtung sind, die senkrecht zueinander sind.

[0023] Die Steuerungsvorrichtung 5 enthält eine Ratterschwingungserfassungseinheit 11, eine Sta-

bile-Drehzahl-Arithmetische-Einheit 12, eine Stabile-Drehzahl-Speichereinheit 13, eine Schaltdrehzahl-speichereinheit 14, eine Zulässige-Drehzahl-Speichereinheit 15, eine Optimale-Drehzahl-Auswahleinheit 16, eine NC-Vorrichtung 17 und eine Warnung-Anzeigevorrichtung 18. Die Ratterschwingungserfassungseinheit 11 ist konfiguriert, eine Analyse der durch die Schwingungssensoren 2a-2c erfassten Zeitbereichs-Schwingungsbeschleunigungen durchzuführen, um dabei Frequenzbereichs-Schwingungsbeschleunigungen (d.h. Schwingungsbeschleunigungen auf der Frequenzachse) zu erhalten. Die Ratterschwingungserfassungseinheit 11 bestimmt, dass „Ratterschwingungen“ aufgetreten sind, wenn der Maximalwert der erhaltenen Frequenzbereichs-Schwingungsbeschleunigungen einen vorbestimmten Schwellwert überschreitet. Die Stabile-Drehzahl-Arithmetische-Einheit 12 ist konfiguriert, mit einer unten beschriebenen Formel mit einer Ratterfrequenz entsprechend dem Maximalwert der Frequenzbereichs-Schwingungsbeschleunigungen, stabile Drehzahlen zu errechnen (berechnen), wenn Ratterschwingungen durch die Ratterschwingungserfassungseinheit 11 erfasst werden. Die Stabile-Drehzahl-Speichereinheit 13 ist konfiguriert, die durch die Stabile-Drehzahl-Arithmetische-Einheit 12 berechneten stabilen Drehzahlen zu speichern. Die Schaltdrehzahl-Speichereinheit 14 ist konfiguriert, eine Schaltdrehzahl, jenseits der sich die dynamische Charakteristik des Hauptspindelsystems ändert, zu speichern. Die Schaltdrehzahl enthält z.B. eine Drehzahl der Hauptspindel 3, jenseits der die Gänge geschaltet werden, und eine Drehzahl der Hauptspindel 3, jenseits der eine Vorspannung der Lagerungen zum Lagern der Hauptspindel 3 umgeschaltet wird. Die Zulässige-Drehzahl-Speichereinheit 15 ist konfiguriert, eine Maximaldrehzahl der Hauptspindel 3 zu speichern. Die Optimale-Drehzahl-Auswahleinheit 16 ist konfiguriert, basierend auf einigen Bedingungen eine optimale Drehzahl zum Unterdrücken der „Ratterschwingungen“ aus den stabilen Drehzahlen auszuwählen. Die NC-Vorrichtung 17 ist konfiguriert, den Bearbeitungsvorgang in dem Rotationswellengehäuse 1 durch Ändern der Drehzahl der Hauptspindel 3 zu steuern, und die Gänge oder die Vorspannung der Lagerungen werden entsprechend der Drehzahl der Hauptspindel 3 geschaltet. Die Warnung-Anzeigevorrichtung 18 ist konfiguriert, eine Warnung für einen Bediener anzuzeigen.

[0024] Eine Steuerung, die durch die Schwingungsunterdrückungsvorrichtung 10 ausgeführt wird, um die „Ratterschwingungen“ zu unterdrücken, wird nachstehend beschrieben.

[0025] In der vorliegenden Ausführungsform hat das Rotationswellengehäuse 1 seine inneren Gänge, die konfiguriert sind, geschaltet zu werden, wenn die Drehzahl der Hauptspindel 3 während des Bearbei-

tungsvorgangs, der durch Rotieren der Hauptspindel 3 ausgeführt wird 4.000 min^{-1} , überschreitet. Zusätzlich sind die Lagerungen zum Lagern der Hauptspindel 3 konfiguriert, eine variable Vorspannung zu empfangen, die geschaltet wird, wenn die Drehzahl der Hauptspindel 12.000 min^{-1} überschreitet. Weiterhin ist die maximale Drehzahl der Hauptspindel 3 auf 14.000 min^{-1} eingestellt. Zu diesen Zwecken bedient der Bediener einer Eingabevorrichtung (nicht gezeigt), um eine Schaltdrehzahl bei 4.000 min^{-1} und 13.000 min^{-1} als in der Schaltdrehzahl-Speichereinheit 14 zu speichernde Werte und eine maximale Drehzahl bei 14.000 min^{-1} als einen in der Zulässige-Drehzahl-Speichereinheit 15 zu speichernden Wert einzustellen.

[0026] In dieser Ausführungsform wird nur die maximale Drehzahl der Hauptspindel 3 als ein Wert der zulässigen Drehzahl eingestellt. Jedoch kann, mit oder ohne die Maximaldrehzahl als einen oberen Grenzwert der zulässigen Drehzahl eingestellt, eine minimale Drehzahl als ein unterer Grenzwert der zulässigen Drehzahl als einen benötigten Basiswert eingestellt werden. Dann kann in dem Auswahl-schritt, der später beschrieben wird, eine Drehzahl, die höher als der untere Grenzwert ist, als eine optimale Drehzahl ausgewählt werden, oder eine Drehzahl in einem Bereich zwischen dem oberen Grenzwert und dem unteren Grenzwert kann als eine optimale Drehzahl ausgewählt werden. Es ist zu verstehen, dass der obere Grenzwert und/oder der untere Grenzwert der Drehzahl für jeden der Typen des Werkzeugs, das auf der Hauptspindel 3 installiert ist (oder für jeden der Typen des Werkstücks, in Fällen, in denen das Werkstück an der Hauptspindel 3 gelagert wird), eingestellt werden kann.

[0027] Als nächstes wird ein Bearbeitungsvorgang an einem Werkstück durch Rotieren der Hauptspindel 3 gestartet. Dann überwacht die Ratterschwingungserfassungseinheit 11 kontinuierlich die Hauptspindel 3, um auf eine solche Weise, wie oben beschrieben, zu erfassen, ob „Ratterschwingungen“ auftreten. Eine Erfassung von „Ratterschwingungen“ unter Verwendung der Schwingungssensoren 2a-2c, wie in dieser Ausführungsform angewendet, kann durch ein Verfahren, das im Detail in der eigenen vorherigen Anmeldung, offen gelegt als Offenlegungsschrift der japanischen Patentanmeldung 2010-17783 (Anmerkung: eine entsprechende US-Patentanmeldung ist als US 2010/0010662 A1 veröffentlicht), beschrieben wurde, ausgeführt werden.

[0028] Wenn die Ratterschwingungserfassungseinheit 11 „Ratterschwingungen“ erfasst, berechnet die Stabile-Drehzahl-Arithmetische-Einheit 12 unter Verwendung einer Ratterfrequenz entsprechend den „Ratterschwingungen“ mit der folgenden Gleichung (1) stabile Drehzahlen.

$$\text{Stabile Drehzahl} = \left\{ 60 \times \text{Ratterfrequenz} / \text{Anzahl der Spannuten} \times (k - \text{Nr.} + 1) \right\} \quad (1),$$

wobei die Anzahl der Werkzeugspannuten die Anzahl der Spannuten des an der Hauptspindel 3 installierten Werkzeugs ist und in die Stabile-Drehzahl-Arithmetische-Einheit 12 im voraus eingegeben und eingestellt wird, und eine k-Nummer eine Ganzzahl ist, die gleich oder größer als 0 ist und nacheinander von $k = 0, 1, 2, 3, 4 \dots$ ersetzt wird. Auf diese Weise wird eine Mehrzahl von stabilen Drehzahlen erhalten. Das Verhältnis zwischen den stabilen Drehzahlen und der kritischen Schnitttiefe (Obergrenze) wird durch eine Kurve in **Fig. 4** dargestellt.

[0029] Die Steuerungsvorrichtung 5 ändert somit die Drehzahl der Hauptspindel 3 auf eine der stabilen Drehzahlen, um so „Ratterschwingungen“ zu unterdrücken. Die folgende Beschreibung basiert auf den Vorgaben, dass die Drehzahl der Hauptspindel 3 zu dem Zeitpunkt der Erfassung der „Ratterschwingungen“ 10.000 min^{-1} ist, und die berechneten stabilen Drehzahlen 9.900 min^{-1} , 11.000 min^{-1} , 12.400 min^{-1} und 14.200 min^{-1} sind. Es ist allgemein bekannt, dass ein Anstieg der Drehzahl der Hauptspindel dazu dient, „Ratterschwingungen“ effektiver zu unterdrücken, da der Anstieg der Drehzahl der Hauptspindel eine Obergrenze der Schnitttiefe erhöht. Im Hinblick dessen, setzt die Optimale-Drehzahl-Auswahleinheit 16 erste Priorität auf 14.200 min^{-1} , aber diese Drehzahl ist höher als die in der Zulässige-Drehzahl-Speichereinheit 15 gespeicherte Maximaldrehzahl (d.h. die maximale Drehzahl der Hauptspindel 3 in dem entsprechenden Bearbeitungsvorgang), daher wird diese Drehzahl nicht als die optimale Drehzahl angewendet. Als nächstes ist die Drehzahl, auf die die Optimale-Drehzahl-Auswahleinheit 16 zweite Priorität setzt, 12.400 min^{-1} , aber diese Drehzahl ist höher als die in der Schalt-Drehzahl-Speichereinheit 14 gespeicherte Schaltdrehzahl. Das heißt, dass, wenn die Drehzahl auf diese Drehzahl geändert wird, sie die Schaltdrehzahl überschreiten würde, und die Vorspannung der Lagerungen zum Lagern der Hauptspindel 3 würde geändert, was verursachen würde, dass sich die dynamische Charakteristik des Systems der Hauptspindel 3 ändert, um so die „Ratterfrequenz“ zu ändern. Als ein Ergebnis würde eine erwartete effektive Unterdrückung von „Ratterschwingungen“ unmöglich werden. Aus diesem Grund wird diese Drehzahl auch nicht als die optimale Drehzahl angewendet. Schließlich wird 11.000 min^{-1} als die optimale Drehzahl angewendet, da diese Drehzahl nicht höher als die maximale Drehzahl ist, und die dynamische Charakteristik des Systems der Hauptspindel 3 nicht verändert.

[0030] Danach überträgt die NC-Vorrichtung 17 eine Anweisung an das Rotationswellengehäuse 1, so dass die Drehzahl der Hauptspindel 3 auf die in der Optimale-Drehzahl-Auswahleinheit 16 ausgewählte optimale Drehzahl geändert wird.

[0031] Andererseits kann der Fall so sein, dass die Schaltdrehzahl jenseits der sich die Vorspannung der Hauptspindel 3 ändert, 13.000 min^{-1} ist, die Drehzahl der Hauptspindel 3 zum Zeitpunkt der Erfassung der „Ratterschwingungen“ 13.500 min^{-1} ist, und die berechneten stabilen Drehzahlen 9.900 min^{-1} , 11.000 min^{-1} , 12.400 min^{-1} und 14.200 min^{-1} sind. In diesem Fall kann 14.200 min^{-1} nicht angewendet werden, da diese Drehzahl, wie im vorgenannten Fall, die maximale Drehzahl überschreitet. 12.400 min^{-1} kann ebenfalls nicht angewendet werden, da die Drehzahl die Schaltdrehzahl überschreiten würde, wenn auf diese Drehzahl geändert wird. Schlichtweg existiert keine stabile Drehzahl, die angewendet werden kann. Daher verwendet, wenn eine solche Situation auftaucht, in dieser Ausführungsform, die Optimale-Drehzahl-Auswahleinheit 16 die Warnung-Anzeigevorrichtung 18, um den Bediener über diese Situation zu informieren.

[0032] Mit dem Schwingungsunterdrückungsverfahren und der Schwingungsunterdrückungsvorrichtung 10, wie oben beschrieben, werden eine maximale Drehzahl der Hauptspindel 3 und eine Schaltdrehzahl, jenseits der sich eine dynamische Charakteristik des Systems der Hauptspindel 3 ändert, gespeichert, dann wird eine optimale Drehzahl, die eine Drehzahl ist, die nicht höher als die maximale Drehzahl der Hauptspindel 3 ist und auf die die Drehzahl der Hauptspindel 3 änderbar ist, ohne die Schaltdrehzahl zu überschreiten, aus den stabilen Drehzahlen ausgewählt, und die Drehzahl der Hauptspindel 3 wird auf die ausgewählte optimale Drehzahl geändert. Dementsprechend können die Möglichkeiten der Änderung der Drehzahl der Hauptspindel 3 auf eine Drehzahl, die nicht erreicht werden kann, oder auf eine solche Drehzahl, dass eine Änderung der Drehzahl zu dieser Geschwindigkeit die dynamische Charakteristik der Hauptspindel 3 ändert, und es somit unmöglich machen, „Ratterschwingungen“ zu unterdrücken, eliminiert werden, so dass die „Ratterschwingungen“ effektiver als mit jeglichen existierenden Verfahren unterdrückt werden können.

[0033] Darüber hinaus macht es das Vorsehen der Warnung-Anzeigevorrichtung 18 möglich, den Bediener von einer speziellen Situation, in der keine auswählbare stabile Drehzahl existiert, zu informieren. Dementsprechend kann sich der Bediener schnell der Situation, zum Beispiel durch Stoppen der Rotation der Hauptspindel 3, widmen, so dass eine Beschädigung des installierten Werkzeugs oder andere beteiligte Risiken verhindert werden können.

[0034] Schritte des Schwingungsunterdrückungsverfahrens und Komponenten der Schwingungsunterdrückungsvorrichtung und ihre Anordnung, die mit der vorliegenden Erfindung übereinstimmen, sind nicht auf die in der oben beschriebenen Ausführungsformen beschränkt und verschiedene Änderungen und Modifikationen der Konfigurationen bezüglich der Erfassung und Berechnung und der Steuerung zum Unterdrücken von Schwingungen können, wo angebracht auf einer benötigten Basis gemacht werden, ohne sich von dem in den Ansprüchen im Anhang definierten Umfang der vorliegenden Erfindung zu entfernen.

[0035] Die vorgenannte Ausführungsform ist konfiguriert, um stabile Drehzahlen unter Verwendung der Schwingungssensoren 2a-2c zu berechnen, aber das Verfahren kann in einer Weise konfiguriert sein, die sich von der vorgenannten Ausführungsform unterscheidet, aber immer noch konsistent mit einem oder mehreren Aspekten der vorliegenden Erfindung ist, z.B. können die stabilen Drehzahlen von einem, wie in **Fig. 4** gezeigten, Stabilitätsgrenzdiagramm, das im Voraus mit den dynamischen Charakteristika des mechanischen Systems, die durch Impulsanregung erhalten wurden und in der Stabile-Drehzahl-Speichereinheit gespeichert wurden, erzeugt wurde, erhalten werden (d.h. eine Bestimmung in der Stabile-Drehzahl-Arithmetische-Einheit kann weggelassen werden). Es ist jedoch zu würdigen, dass das Verfahren, in dem stabile Drehzahlen durch die Stabile-Drehzahl-Arithmetische-Einheit entsprechend der oben beschriebenen Ausführungsform berechnet werden, vorteilhaft ist, da stabile Drehzahlen, basierend auf aktuell auftretenden „Ratterschwingungen“ berechnet, bereitgestellt werden, d.h. zuverlässigere Werte der stabilen Drehzahlen können erzeugt werden, und auf eine aufwendige Ausrüstung, die für eine Impulsanregung erforderlich ist, kann verzichtet werden.

[0036] In der oben beschriebenen Ausführungsform werden Schwingungsbeschleunigungen der Rotationswelle durch Schwingungssensoren erfasst, aber die Verschiebung der Rotationswelle oder der Schalldruck aufgrund von Schwingungen kann stattdessen erfasst werden, so dass eine optimale Drehzahl basierend auf der Verschiebung oder dem Schalldruck berechnet wird.

[0037] Weiterhin werden in der oben beschriebenen Ausführungsform zum Zweck der Bestimmung der optimalen Drehzahl Schwingungen einer Rotationswelle einer Werkzeugmaschine erfasst, aber stattdessen können Schwingungen eines stationären Körpers erfasst werden. Um konkreter zu sein, ist die Werkzeugmaschine nicht auf ein Bearbeitungszentrum beschränkt, das konfiguriert ist, ein Werkzeug zu rotieren, sondern die vorliegende Erfindung kann auf eine Drehmaschine oder andere Werkzeug-

maschinen, die konfiguriert sind, ein Werkstück zu rotieren, angewendet werden. Weiterhin können die Positionen, in denen die Erfassungseinheiten installiert sind, und die Anzahl der Erfassungseinheiten geändert werden, wo es entsprechend dem Typ und der Größe der Werkzeugmaschine geeignet ist.

[0038] Darüber hinaus ist es zu verstehen, dass eine Änderung der Drehzahl manuell ausgeführt werden kann. Es ist auch zu verstehen, dass die Schaltdrehzahl und die maximale Drehzahl, etc. in geeigneter Weise eingestellt werden können und nicht auf die Werte, die in der oben beschriebenen Ausführungsform beispielhaft angenommen wurden, beschränkt sind. Die Werte der stabilen Drehzahlen sind ebenfalls so zu verstehen, ungeachtet der exemplarischen Werte der oben beschriebenen Ausführungsform, ohne Beschränkungen konfiguriert zu werden.

Patentansprüche

1. Schwingungsunterdrückungsverfahren, das in einer Werkzeugmaschine, die eine Rotationswelle (3) zum Nutzen beim Rotieren eines Werkzeugs oder eines Werkstücks hat, zum Unterdrücken von Ratterschwingungen, die während einer Rotation der Rotationswelle (3) erzeugt werden, ausgeführt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Schwingungsunterdrückungsverfahren aufweist: einen ersten Schritt eines Erfassens von Ratterschwingungen unter Verwendung einer Ratterschwingungserfassungseinheit (11) ; einen zweiten Schritt eines Speicherns von einer Mehrzahl von stabilen Drehzahlen, bei denen erwartet wird, dass die Ratterschwingungen unterdrückt werden, und von zumindest einer Schaltdrehzahl, jenseits der sich eine dynamische Charakteristik eines Rotationswellensystems ändert; einen dritten Schritt eines Auswählens einer optimalen Drehzahl aus der Mehrzahl von stabilen Drehzahlen, wobei die optimale Drehzahl eine Drehzahl ist, auf die eine Drehzahl der Rotationswelle (3) änderbar ist, ohne die Schaltdrehzahl zu überschreiten; und einen vierten Schritt eines Ändern der Drehzahl der Rotationswelle (3) auf die optimale Drehzahl.
2. Schwingungsunterdrückungsverfahren gemäß Anspruch 1, das in dem zweiten Schritt weiterhin Schritte aufweist: eines Bestimmens einer Ratterfrequenz der in dem ersten Schritt erfassten Ratterschwingungen; und eines Bestimmens der Mehrzahl von stabilen Drehzahlen unter Verwendung der bestimmten Ratterfrequenz.
3. Schwingungsunterdrückungsverfahren gemäß Anspruch 1 oder 2, weiterhin in dem zweiten Schritt einen Schritt eines Speicherns zumindest

einer von einer oberen Grenzdrehzahl und einer unteren Grenzdrehzahl für zumindest einen Typ der Rotationswelle (3) und Typen des Werkzeugs oder des Werkstücks, die an der Rotationswelle (3) zu montieren sind, aufweisend, wobei die optimale Drehzahl, die in dem dritten Schritt auszuwählen ist, eine Drehzahl ist, auf die eine Drehzahl der Rotationswelle (3) änderbar ist, ohne die Schaltdrehzahl zu überschreiten, und die innerhalb eines Bereichs ist, der zumindest durch eine von der oberen Grenzdrehzahl und der unteren Grenzdrehzahl definiert ist.

4. Schwingungsunterdrückungsverfahren

gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, weiterhin in dem dritten Schritt einen Schritt eines Anzeigens einer Warnung in einer Anzeigevorrichtung (18), wenn keine in dem zweiten Schritt gespeicherte Mehrzahl von stabilen Drehzahlen gefunden wird, auf die eine Drehzahl der Rotationswelle (3) änderbar ist, ohne die Schaltdrehzahl zu überschreiten, aufweisend.

5. Schwingungsunterdrückungsvorrichtung, die in einer Werkzeugmaschine vorgesehen ist, die eine Rotationswelle (3) zum Nutzen beim Rotieren eines Werkzeugs oder eines Werkstücks hat, zum Unterdrücken von Ratterschwingungen, die während einer Rotation der Rotationswelle (3) erzeugt werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass, die Schwingungsunterdrückungsvorrichtung aufweist: eine Ratterschwingungserfassungseinheit (11), die konfiguriert ist, Ratterschwingungen zu erfassen; eine Speichereinheit, die konfiguriert ist, eine Mehrzahl von stabilen Drehzahlen, bei denen erwartet wird, dass die Ratterschwingungen unterdrückt werden, und zumindest eine Schaltdrehzahl zu speichern, jenseits der sich eine dynamische Charakteristik eines Rotationswellensystems ändert; eine Optimale-Drehzahl-Auswahleinheit (16), die konfiguriert ist, aus der Mehrzahl von stabilen Drehzahlen eine optimale Drehzahl auszuwählen, wobei die optimale Drehzahl eine Drehzahl ist, auf die eine Drehzahl der Rotationswelle (3) änderbar ist, ohne die Schaltdrehzahl zu überschreiten; und eine Drehzahländerungseinheit, die konfiguriert ist, die Drehzahl der Rotationswelle (3) auf die optimale Drehzahl zu ändern.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

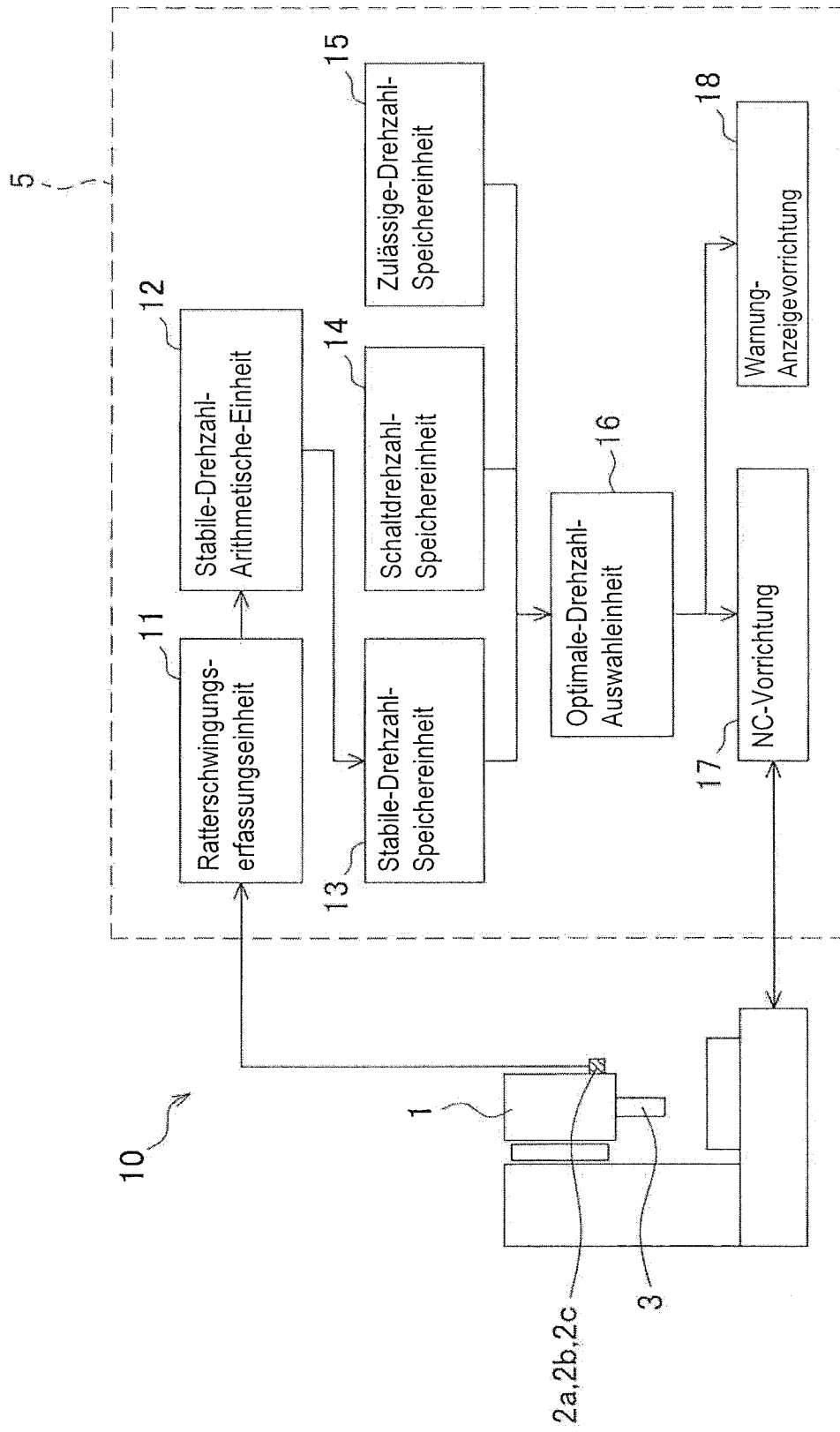


FIG. 2

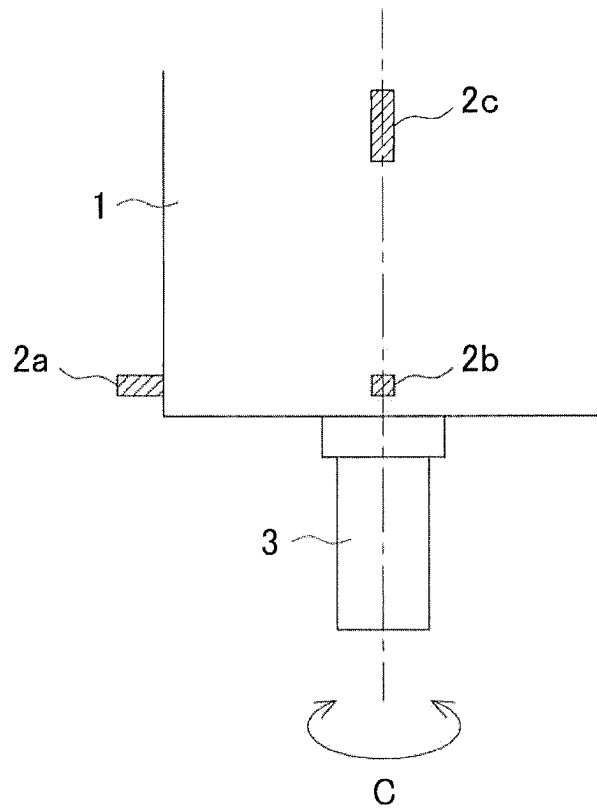


FIG. 3

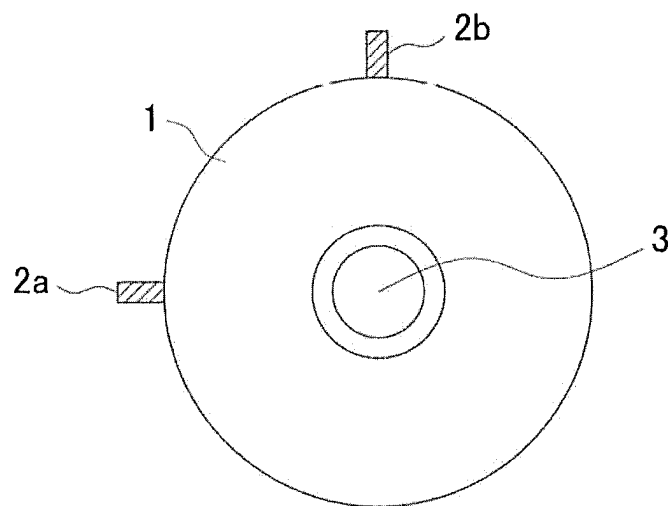


FIG. 4

