



(10) **DE 10 2013 206 243 B4** 2021.12.23

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2013 206 243.5**
(22) Anmeldetag: **09.04.2013**
(43) Offenlegungstag: **21.11.2013**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **23.12.2021**

(51) Int Cl.: **B23Q 11/00** (2006.01)
B23Q 17/00 (2006.01)
G05B 5/00 (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:
2012-113633 17.05.2012 JP

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

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

(72) Erfinder:
**Inagaki, Hiroshi, Aichi, JP; Shikama, Toshiya,
Aichi, JP**

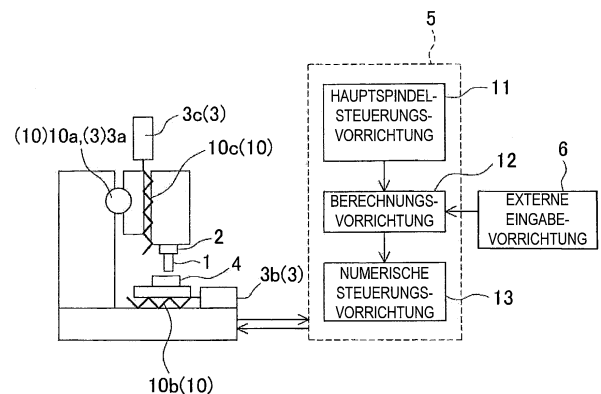
(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2006 049 867	A1
US	6 241 435	B1
JP	4 433 422	B2
JP	2002- 292 501	A

(54) Bezeichnung: **Bearbeitungsschwingungsunterdrückungsverfahren und
Bearbeitungsschwingungsunterdrückungseinrichtung für eine Werkzeugmaschine**

(57) Hauptanspruch: Bearbeitungsschwingungsunterdrückungsverfahren für eine Werkzeugmaschine, die ein Werkstück (4) bearbeitet während sie ein an eine Hauptspindel (2) montiertes Werkzeug (1) rotiert, wobei das Verfahren aufweist:

ein Bearbeiten des Werkstücks (4), während eine erzwungene Schwingung mit einer vorbestimmten Amplitude und einer vorbestimmten Schwingungsfrequenz während des Bearbeitens auf eine Zustelloperation für eine Zustellwelle (10) aufgebracht wird, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkstück (4) mit einer während des Bearbeitens auf die Zustelloperation für die Zustellwelle (10) überlagerten ersten Schwingung und zweiten Schwingung bearbeitet wird, wobei die erste Schwingung eine bezüglich der Drehzahl des Werkzeugs (1) um einen vorbestimmten Betrag verschobene Schwingungsfrequenz hat, und die zweite Schwingung eine spezifische Amplitude und eine Schwingungsfrequenz hat, die gleich der Drehzahl des Werkzeugs (1) ist.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Bearbeitungsschwingungsunterdrückungsverfahren und eine Bearbeitungsschwingungsunterdrückungseinrichtung für eine Werkzeugmaschine, die in der Lage sind, ein Auftreten einer Ratterschwingung und ein Werkzeugabplatzen während eines Drehens und Schneidens, insbesondere während eines tiefen Schneidens wie etwa einer Schruppbearbeitung, zu unterdrücken.

[0002] In einer Werkzeugmaschine, die eine Bearbeitung ausführt während ein Werkzeug rotiert, wird, wenn ein Schneidmaß während einer Bearbeitung erhöht wird, eine Ratterschwingung verursacht, was eine beeinträchtigte bearbeitete Oberfläche ergibt. Um eine solche Ratterschwingung während einer Bearbeitung zu unterdrücken, wurde zum Fräsen eine Technik vorgeschlagen, bei der aus der Eigenfrequenz einer Schwingung des Systems, in dem das Rattern verursacht wird, und der Ratterfrequenz während einer Bearbeitung eine optimale Drehzahl berechnet wird (siehe z.B. japanisches Patent Nr. 4433422).

[0003] Für ein Schneiden wurde ein Verfahren vorgeschlagen, bei dem, in dem Fall in dem ein Hauptspindelmotor ein ausreichendes Drehmoment erzeugt, die Drehzahl einer Hauptspindel um einen bestimmten Betrag und eine bestimmte Periode verändert wird, und ein Verfahren, bei dem eine Einheit, die während einer Bearbeitung eine Ultraschallschwingung erzeugt, an einer Zustellwelle angebracht wird, um eine winzige Hochfrequenzschwingung aufzubringen, um eine Schneidkraft zu reduzieren und dabei ein Rattern zu unterdrücken (siehe z.B. Veröffentlichung der japanischen Patentanmeldung Nr. 2002-292501 (JP 2002-292501 A)).

[0004] Ferner wurde ein Verfahren vorgeschlagen, bei dem ein Bearbeiten entlang eines Trochoids ausgeführt wird, um die Zeit zu reduzieren, bei der eine Schneidkante ein zu bearbeitendes Objekt berührt, um ein Ansteigen des Ratterns zu unterdrücken.

[0005] Jedoch erfordert das Verfahren zum Fräsen, in dem eine optimale Drehzahl berechnet wird, einen Sensor, der ein Rattern erfasst, und eine komplizierte Steuerungsvorrichtung. In dem Verfahren zum Schneiden, bei dem die Drehzahl der Hauptspindel um einen bestimmten Betrag und um eine bestimmte Periode verändert wird, wird eine übermäßige Last auf den Hauptspindelmotor aufgebracht. Das Verfahren, bei dem eine winzige Hochfrequenzschwingung auf die Zustellwelle aufgebracht wird, erfordert eine Einheit, die eine winzige Schwingung aufbringt, und ist für ein tiefes Schneiden nicht geeignet. Die Trochoidbearbeitung erfordert einen Wechsel zu einem

Programm und spricht nicht so an, dass das Schneidmaß nicht erhöht werden kann.

[0006] Für ein tiefes Schneiden wird aus Angst vor einem Werkzeugabplatzen ein Werkzeug mit austauschbaren Schneidkanten verwendet. Jedoch kann es aufgrund der Bearbeitungsgenauigkeit des Werkzeugkörpers einen Unterschied im Betrag einer Unrundheit unter den angebrachten Schneidkanten geben, was in einer sogenannten „Werkzeugunrundheit“ resultieren kann, die sich von der oben beschriebenen Schwingung unterscheidet. Die Unrundheit wird proportional zu dem Schneidmaß erhöht und neigt dazu, die Schneidkanten abplatzen zu lassen. Dadurch kann es schwierig sein, die maximale Schneidkapazität des Werkzeugs zu erreichen.

[0007] Als weiterer Stand der Technik betrifft die DE 10 2006 049 867 A1 eine Werkzeugmaschine, wobei die Werkzeugmaschine eine Werkstück-einspannvorrichtung zur Einspannung eines Werkstücks aufweist, wobei die Werkstückeinspannvorrichtung und solchermaßen das Werkstück mittels eines Piezoaktors bewegbar sind, sowie ein korrespondierendes Verfahren. Während eines Bearbeitungsvorgangs auftretende Schwingungen werden dabei reduziert.

[0008] Zudem offenbart die US 6,241,435 B1 ein Verfahren zum automatischen Minimieren einer unerwünschten Bewegung eines Werkstücks während eines Bearbeitungsvorgangs und eine universelle adaptive Bearbeitungs-Ratter-Steuervorrichtung, die gemäß dem Verfahren arbeitet. Das Verfahren umfasst die Schritte des Montierens des Werkstücks an einer aktiven tragenden Struktur und des anschließenden Bearbeitens des Werkstücks. Während des Bearbeitungsschritts wird eine unerwünschte Bewegung des Werkstücks in der Tragstruktur erfasst. Danach wird eine Ausgleichsbewegung auf die Tragstruktur ausgeübt, um die unerwünschte Bewegung des Werkstücks zu minimieren.

[0009] Hinsichtlich der vorstehenden Umstände ist es daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Bearbeitungsschwingungsunterdrückungsverfahren und eine Bearbeitungsschwingungsunterdrückungseinrichtung für eine Werkzeugmaschine bereitzustellen, die in der Lage sind, eine Ratterschwingung durch Überlagern einer winzigen Schwingung auf eine Zustellwelle während eines Bearbeitens zu unterdrücken, und die in der Lage sind, ein Abplatzen aufgrund von Unrundheit eines Werkzeugs durch Vergleichmäßigen von Schnittkräften, die auf mehrere von an dem Werkzeug montierten Schneidkanten aufgebracht werden, zu unterdrücken.

[0010] Die Aufgabe wird durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst. Weiterentwicklungen sind Gegenstand der Unteransprüche

[0011] Um sich den vorstehenden Problemen zu widmen, stellt ein erster Aspekt der vorliegenden Erfindung ein Bearbeitungsschwingungsunterdrückungsverfahren für eine Werkzeugmaschine, die ein Werkstück bearbeitet während ein an einer Hauptspindel montiertes Werkzeug rotiert, bereit. Dieses Verfahren enthält ein Bearbeiten des Werkstücks während eine erzwungene Schwingung mit einer vorbestimmten Amplitude und einer vorbestimmten Schwingungsfrequenz während des Bearbeitens auf eine Zustelloperation für eine Zustellwelle aufgebracht wird.

[0012] Entsprechend dem Verfahren wird das Werkstück bearbeitet während eine erzwungene Schwingung auf eine Zustelloperationen aufgebracht wird, d.h. während das Werkstück relativ dazu in Schwingung versetzt wird. Als ein Ergebnis wird die Zustellrate pro Schneidkante des Werkzeugs periodisch verändert und dabei wird es ermöglicht, eine während eines tiefen Schneidens oder dergleichen verursachte Ratterschwingung zu unterdrücken.

[0013] Zudem stellt das Bearbeitungsschwingungsunterdrückungsverfahren für eine Werkzeugmaschine gemäß dem ersten Aspekt ein Verfahren zur Verfügung, bei dem das Werkstück bei einer ersten Schwingung und einer zweiten auf die Zustelloperation für die Zustellwelle während eines Bearbeitens überlagerten Schwingung bearbeitet wird, wobei die erste Schwingung bezüglich der Drehzahl des Werkzeugs eine um einen vorbestimmten Betrag versetzte Schwingungsfrequenz hat und die zweite Schwingung eine spezielle Amplitude und eine Schwingungsfrequenz hat, die gleich der Drehzahl des Werkzeugs sind.

[0014] Entsprechend diesem Verfahren werden zwei Arten von Schwingungen, die eine mit der Drehzahl des Werkzeugs synchronisierte Schwingung und eine dazu versetzte Schwingung enthalten, auf das Werkstück aufgebracht, und dabei werden ebenso eine Ratterschwingung und ein Werkzeugabplatzen unterdrückt.

[0015] Einerseits stellt die vorliegende Erfindung ein Bearbeitungsschwingungsunterdrückungsverfahren für eine Werkzeugmaschine gemäß dem ersten Aspekt bereit, bei dem die Schwingungsfrequenz einer erzwungenen Schwingung eine bezüglich einer Drehzahl des Werkzeugs um einen vorbestimmten Betrag versetzte Schwingungsfrequenz ist.

[0016] Diesbezüglich wird der Schneidwiderstand in Verbindung mit der Drehzahl des Werkzeugs nicht erhöht oder reduziert und die Schneidkraft ist nicht gleichmäßig, wobei eine Ratterschwingung unterdrückt wird.

[0017] Zusätzlich wird die auf die Schneidkanten aufgebrachte Schneidkraft verteilt, so dass die maximale Schneidkraft nicht die gesamte Zeit auf eine spezielle Schneidkante aufgebracht wird, wodurch es dabei ebenfalls möglich gemacht wird, ein Werkzeugabplatzen zu unterdrücken.

[0018] Andererseits stellt die vorliegende Erfindung das Bearbeitungsschwingungsunterdrückungsverfahren für eine Werkzeugmaschine gemäß dem ersten Aspekt bereit, bei dem die Schwingungsfrequenz einer erzwungenen Schwingung eine Schwingungsfrequenz ist, die gleich einer Drehzahl des Werkzeugs ist.

[0019] Diesbezüglich hat die auf die Zustelloperation zu überlagernde erzwungene Schwingung eine Schwingungsfrequenz, die gleich der Drehzahl des Werkzeugs ist, d.h. gleich der Unrundheit des Werkzeugs ist. Daher kann die erzwungene Schwingung dazu gebracht werden, den Einfluss des Betrags der Werkzeugunrundheit auszulöschen, und dabei ein Werkzeugabplatzen zu unterdrücken. In dem Fall, in dem das Werkzeug mehrere Schneidkanten enthält, kann die Unrundheit des Werkzeugs insbesondere durch Aufbringen einer Schwingung, deren Phase entgegengesetzt zu der Unrundheit des Werkzeugs ist, ausgelöscht werden, so dass die Schneidkraft gleichmäßig auf die Schneidkanten verteilt wird und dabei ein Werkzeugabplatzen zuverlässig unterdrückt wird.

[0020] Ein zweiter Aspekt der vorliegenden Erfindung stellt eine Bearbeitungsschwingungsunterdrückungseinrichtung für eine Werkzeugmaschine bereit, die ein Werkstück bearbeitet während sie eine Hauptspindel rotiert, an die ein Werkzeug, das eine Schneidkante oder mehrere Schneidkanten hat, montiert ist, um zumindest eines von dem Werkstück oder dem Werkzeug in einer Ebene, die rechtwinklig zu der Hauptspindel ist, zuzuführen. Diese Einrichtung enthält eine Bedingungeingabeeinheit, die eine Amplitude und eine Phase des Werkstücks einstellt, eine Schwingungsberechnungseinheit, die auf der Basis der eingegebenen Amplitude und Phase des Werkstücks eine Schwingungsphase einer Zustellwelle berechnet, um ein Zustellwellensteuerungssignal zu erzeugen, und eine Zustellsteuerungseinheit, die ein Zustellen der Zustellwelle steuert, in der die Zustellsteuerungseinheit eine auf dem Zustellwellensteuerungssignal basierende erzwungene Schwingung auf das Werkstück aufbringt.

[0021] Entsprechend der Konstruktion wird das Werkstück bearbeitet während das Werkstück durch Aufbringen einer Schwingung, die auf der Basis der eingegebenen Amplitude und Phase des Werkstücks auf das Werkzeug oder das Werkstück aufgebracht wird, in Schwingung versetzt wird. Als ein Ergebnis wird die Zustellrate pro Schneidkante des Werkzeugs

periodisch verändert und dabei wird es ermöglicht, eine während eines tiefen Schneidens oder dergleichen erzeugte Ratterschwingung zu unterdrücken.

[0022] Zudem stellt die Bearbeitungsschwingungsunterdrückungseinrichtung für eine Werkzeugmaschine gemäß dem zweiten Aspekt eine Einrichtung zur Verfügung, bei der das von der Schwingungsberechnungseinheit ausgegebene Zustellwellensteuerungssignal ein Signal ist, das durch ein Überlagern eines Steuerungssignals, das eine erste Schwingung verursacht, auf ein Steuerungssignal, das eine zweite Schwingung verursacht, erhalten wird, wobei die erste Schwingung eine Schwingungsfrequenz hat, die bezüglich der Drehzahl des Werkzeugs um einen vorbestimmten Betrag versetzt ist, und die zweite Schwingung eine Schwingungsfrequenz hat, die gleich der Drehzahl des Werkzeugs ist, und die Zustellsteuerungseinheit eine auf den zwei Arten von Steuerungssignalen basierende erzwungene Schwingung auf das Werkstück aufbringt.

[0023] Entsprechend der Konstruktion werden zwei Arten von Schwingungen, die eine mit der Drehzahl des Werkzeugs synchronisierte Schwingung und eine dazu versetzt Schwingung enthalten, auf das Werkstück aufgebracht, wobei sowohl eine Ratterschwingung als auch ein Werkzeugabplatzen unterdrückt werden.

[0024] Ein dritter Aspekt der vorliegenden Erfindung stellt eine Bearbeitungsschwingungsunterdrückungseinrichtung für eine Werkzeugmaschine gemäß dem zweiten Aspekt bereit, die ferner einen Werkzeuginformation-Eingabeabschnitt enthält, der eine Rotationsphase des Werkzeugs erlangt, in dem das von der Schwingungsberechnungseinheit zum Ausführen der erzeugten Schwingung ausgegebene Zustellwellensteuerungssignal ein Signal ist, das eine Schwingung mit einer im Voraus eingestellten Amplitude und mit einer Schwingungsfrequenz, die um einen vorbestimmten Betrag bezüglich einer Drehzahl des Werkzeugs versetzt ist, verursacht.

[0025] Entsprechend der Konstruktion wird der Schneidwiderstand in Verbindung mit der Drehzahl des Werkzeugs nicht erhöht oder reduziert und die Schneidkraft ist ungleichmäßig, wobei eine Ratterschwingung unterdrückt wird.

[0026] Zusätzlich wird die auf die Schneidkanten aufgebrachte Schneidkraft verteilt, so dass die maximale Schneidkraft nicht die gesamte Zeit auf eine spezielle Schneidkante aufgebracht wird, wobei es möglich ist, ein Werkzeugabplatzen zu unterdrücken.

[0027] Ein vierter Aspekt der vorliegenden Erfindung stellt die Bearbeitungsschwingungsunterdrückungseinrichtung für eine Werkzeugmaschine gemäß dem zweiten Aspekt bereit, die ferner einen Werkzeugin-

formation-Eingabeabschnitt enthält, der eine Rotationsphase des Werkzeugs erlangt, in dem das von der Schwingungsberechnungseinheit zur Ausführung der erzwungenen Schwingung ausgegebene Zustellwellensteuerungssignal ein Signal ist, das eine Schwingung mit einer im Voraus eingestellten Amplitude und mit einer Schwingungsfrequenz, die gleich einer Drehzahl des Werkzeugs ist, verursacht.

[0028] Entsprechend der Konstruktion hat die auf die Zustelloperation zu überlagernde erzwungene Schwingung eine Schwingungsfrequenz, die gleich der Drehzahl des Werkzeugs ist, d.h. gleich der Unrundheit des Werkzeugs ist. Daher kann die erzwungene Schwingung veranlasst werden, den Einfluss des Betrags der Werkzeugunrundheit auszulöschen, und wobei ein Werkzeugabplatzen unterdrückt wird. In dem Fall, in dem das Werkzeug mehrere Schneidkanten enthält, kann die Unrundheit des Werkzeugs insbesondere durch Aufbringen einer Schwingung mit einer zu der Unrundheit des Werkzeugs entgegengesetzten Phase ausgelöscht werden, so dass die Schneidkraft gleichmäßig auf die Schneidkanten verteilt wird, wobei ein Werkzeugabplatzen zuverlässig unterdrückt wird.

[0029] Entsprechend der vorliegenden Erfindung wird das Werkstück bearbeitet während eine erzwungene Schwingung auf die Zustelloperation aufgebracht wird, d.h. während das Werkstück relativ dazu in Schwingung versetzt wird, was die Zustellrate pro Schneidkante des Werkzeugs periodisch verändert. Als ein Ergebnis kann eine während eines tiefen Schneidens verursachte Ratterschwingung oder dergleichen unterdrückt werden.

[0030] Zusätzlich kann mit der auf die Zustelloperation zu überlagernden erzwungenen Schwingung mit einer Schwingungsfrequenz, die gleich der Drehzahl des Werkzeugs ist, die erzwungene Schwingung veranlasst werden, den Einfluss des Betrags der Werkzeugunrundheit auszulöschen, wobei zuverlässig ein Werkzeugabplatzen unterdrücken wird.

Fig. 1 ist eine Darstellung, die ein Beispiel einer Bearbeitungsschwingungsunterdrückungseinrichtung für eine Werkzeugmaschine gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt.

Fig. 2A ist eine Draufsicht auf ein Werkzeug, die die Anordnung von Schneidkanten zeigt, und **Fig. 2B** zeigt die Ergebnisse von Messungen des Betrags der Werkzeugunrundheit in jeder Phase der Schneidkanten.

Fig. 3 ist ein Diagramm, das eine Sinuswelle zeigt, die sich dem Verhältnis zwischen dem Betrag einer Werkzeugunrundheit und der Phasendifferenz annähert.

Fig. 4 ist ein Ablaufdiagramm, das den Ablauf einer Abplatzunterdrückungssteuerung zeigt.

Fig. 5 ist ein Diagramm, das die Schneidkraftverteilung während einer Bearbeitung in einem Fall zeigt, in dem der Betrag der Werkzeugunrundheit nicht korrigiert wurde.

Fig. 6 ist ein Diagramm, das die Schneidkraftverteilung während einer Bearbeitung in einem Fall zeigt, in dem der Betrag der Werkzeugunrundheit korrigiert wurde.

Fig. 7 ist ein Ablaufdiagramm, das ein anderes Beispiel der Abplatzunterdrückungssteuerung zeigt.

Fig. 8 ist ein Diagramm, das die Schneidkraftverteilung während einer Bearbeitung in einem Fall zeigt, in dem eine Schwingung mit der Werkzeugdrehzahl synchronisiert wurde.

Fig. 9 ist ein Diagramm, das die Schneidkraftverteilung während einer Bearbeitung in einem Fall zeigt, in dem eine Schwingung nicht mit der Werkzeugdrehzahl synchronisiert wurde.

Fig. 10 ist eine schematische Ansicht eines Werkzeugpfads.

[0031] Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird nachstehend unter Bezugnahme auf die Zeichnungen im Detail beschrieben. **Fig. 1** ist eine Darstellung, die ein Beispiel einer Werkzeugmaschine zeigt, die eine Bearbeitungsschwingungsunterdrückungseinrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung enthält. Bezugszeichen **1** bezeichnet ein Werkzeug, **2** bezeichnet eine Hauptspindel, die das Werkzeug **1** rotiert, **3** bezeichnet eine Zustellwellenantriebseinheit, die die Zustellrate einer Zustellwelle **10** steuert, **4** bezeichnet ein Werkstück, **5** bezeichnet eine Bearbeitungsschwingungsunterdrückungseinrichtung und **6** bezeichnet eine externe Eingabevorrichtung, die eine Eingabe von Bedingungen, wie etwa Anweisungswerten für den Radius, die Winkelgeschwindigkeit und die Phasendifferenz einer auf die Zustellwelle **10** zu überlagernden Schwingung, eine Information über Schneidkanten, usw. ermöglicht.

[0032] Die Zustellwellenantriebseinheit **3** enthält eine X-Achsensteuerungseinheit **3a**, die eine X-Achsenzustellwelle **10a** steuert, eine Y-Achsensteuerungseinheit **3b**, die eine Y-Achsenzustellwelle **10b** steuert und eine Z-Achsensteuerungseinheit **3c**, die eine Z-Achsenzustellwelle **10c** steuert. Die Bearbeitungsschwingungsunterdrückungseinrichtung **5** enthält eine Hauptspindelsteuerungsvorrichtung **11**, die die Drehzahl der Hauptspindel **2** steuert, eine Berechnungsvorrichtung **12**, die aus der Rotationsphase der Hauptspindel **2** einen Korrekturwert für jede axiale Richtung berechnet, und eine numerische Steuerungsvorrichtung **13**, die die Zustellwelle **10** steuert.

[0033] In der so konfigurierten Werkzeugmaschine wird eine Schwingung wie folgend unterdrückt. Eine Winzige-Schwingung-Steuerung wird auf NC-Pro-

grammanweisungen für ein axiales Zustellen, das durch die Zustellwellenantriebseinheit **3** für jede Achse durchgeführt wird, überlagert.

[0034] Beispielsweise wird für eine genaue Bearbeitung, die in einer X-Y-Ebene ausgeführt wird, die senkrecht zu der Hauptspindel **2** ist, basierend auf einem Pfad, der durch die folgenden Formeln **1** und **2** festgelegt ist, eine winzige Schwingung auf einen Bearbeitungspfad entsprechend typischer Anweisungen überlagert.

$$X = R \times \cos(\omega t - \theta_1) \quad \text{Formel 1}$$

$$Y = R \times \sin(\omega t) \quad \text{Formel 2}$$

[0035] In den Formeln ist R ein eingestellter Wert für einen winzigen Schwingungsradius, ω ist die Winkelgeschwindigkeit einer Rotation des Werkzeugs **1**, t ist die vergangene Zeit, und θ_1 ist die Phasendifferenz zwischen der X-Achse und der Y-Achse. Der eingestellte Wert R des winzigen Schwingungsradius kann wie gewünscht entsprechend den Bearbeitungsbedingungen eingestellt werden, und er kann auf einen Wert um die Zustellrate pro Schneidkante des Werkzeugs **1** herum (z.B. 0,1 mm) eingestellt werden.

[0036] **Fig. 10** ist eine schematische Ansicht eines Pfads M des Werkzeugs **1** in einem Fall, in dem eine Bearbeitung mit einer auf die Zustellwelle **10** überlagerten winzigen Schwingung ausgeführt wird. Wie in **Fig. 10** gezeigt, führt das Werkzeug **1** eine Bearbeitung so aus, dass es wegen der überlagerten winzigen Schwingung Kreise zeichnet.

[0037] Auf diese Weise wird eine Bearbeitung mit einer auf die Zustelloperation aufgebrachten erzwungenen Schwingung durchgeführt. Das heißt, dass, indem das Werkzeug **1** oder das Werkstück **4** periodisch in Schwingung versetzt wird, ein Bearbeiten des Werkstücks **4** die Zustellrate pro Schneidkante des Werkzeugs **1** periodisch verändert, und daher kann eine Ratterschwingung, die während eines tiefen Schneidens oder dergleichen verursacht wird, unterdrückt werden.

[0038] Obwohl in der Ausführungsform eine Schwingung nur in der X-Y-Ebene aufgebracht wird, kann eine Schwingung zusätzlich in der Z-Achsenrichtung, die die Richtung der Hauptspindel **2** ist, aufgebracht werden, um eine Ratterschwingung zu unterdrücken.

[0039] Im Falle eines Werkzeugs mit austauschbaren Schneidkanten, wie etwa einem Einsteckwerkzeug, wird indessen wegen des Einflusses der Bearbeitungsgenauigkeit der Anbringflächen der Schneidkanten allgemein eine Unrundheit in dem Werkzeug **1** verursacht, die dazu tendiert, ein Werkzeugabplatzen zu verursachen. Somit kann die Zustellwelle **10**

mit der Hauptspindel **2**, die eine Rotationswelle des Werkzeugs **1** ist, geringfügig synchron versetzt werden, um so den Betrag einer Werkzeugunrundheit durch Einstellen einer Amplitude und einer Phase auf der Basis von jeweiligen Positionen der Schneidkanten und ihrer jeweiligen Beträge von Unrundheit, die im voraus gemessen wurden, auszulöschen. Dies ermöglicht eine Zustellrate pro Schneidkante, die nahe einem Wert ist, der auf der ursprünglichen Anweisung basiert, wobei ein Werkzeugabplatzen unterdrückt wird.

[0040] Fig. 2A und Fig. 2B zeigen ein Beispiel des Werkzeugs **1** mit austauschbaren Schneidkanten. Fig. 2A ist eine Draufsicht auf das Werkzeug **1** und Fig. 2B zeigt die Messergebnisse des Zusammenhangs zwischen der Phase von jeder Schneidkante und dem Betrag einer Werkzeugunrundheit von jeder Schneidkante. Wie in Fig. 2A gezeigt, enthält das Werkzeug **1** vier Schneidkanten **1a**, die im Abstand von 90° vorgesehen sind.

[0041] Normalerweise werden Impulssignale für jeden Rotationswinkel und jede Rotation ausgeben. Daher kann die Hauptspindelrotationssteuervorrichtung **11**, die eine Rotation der Hauptspindel **2** steuert, aus den Impulssignalen eine Information des Ursprungs des Rotationswinkels des Werkzeugs **1**, der Position, bei der die Impulssignale erzeugt werden, und der Phase der Schneidkanten **1a** (nachstehend wird sich darauf einfach als „Phase von jeder Schneidkante **1a**“ bezogen) erhalten.

[0042] Fig. 3 zeigt eine Sinuswelle, die sich dem Verhältnis zwischen dem so gemessenen Betrag der Werkzeugunrundheit δ und der Phasendifferenz θ_2 von dem Ursprung des Rotationswinkels oder der Position, bei der die Impulssignale erzeugt werden, annähert. Da das Werkzeug **1** gemäß der Ausführungsform vier Schneidkanten hat, haben Daten einen Abstand von 90°, und in diesem Fall kann dies durch die folgende Formel 3 angenähert werden.

$$\text{Betrag einer Werkzeugunrundheit } \delta \text{ (}\mu\text{m)} = 18 \times (1 + \sin(\theta_2 - 280^\circ))$$

Formel 3

[0043] In der Formel ist θ_2 die Phasendifferenz von den von der Rotationswelle des Werkzeugs **1** erzeugten Impulssignalen oder der Ursprung des Rotationswinkels, und 280° ist ein Phasendifferenzkorrekturwert.

[0044] Dann werden Korrekturwerte durch Verteilen des berechneten Betrags einer Werkzeugunrundheit δ auf die jeweiligen axialen Richtungen erhalten und bei den Formeln 1 und 2 überlagert, um die folgenden Formeln 4 und 5 zu erzielen.

$$X = R \times \cos(\omega t - \theta_1) - \delta x \quad \text{Formel 4}$$

$$Y = R \times \sin(\omega t) - \delta y \quad \text{Formel 5}$$

[0045] In den Formeln ist δx ein Wert des Betrags einer Unrundheit, der in die X-Achsenrichtung verteilt ist, und δy ist ein Wert des Betrags einer Unrundheit, der in die Y-Achsenrichtung verteilt ist.

[0046] Eine solche Schwingung wird auf die Zustellwelle **10** (die X-Achsenzustellwelle **10a** und die Y-Achsenzustellwelle **10b**) überlagert, um das Werkzeug **1** oder das Werkstück **4** zu veranlassen, sich einer erzwungenen Schwingung zu unterziehen, mit anderen Worten, das Werkstück **4** zu veranlassen, bearbeitet zu werden während es relativ dazu in Schwingung versetzt wird. Dann wird der Betrag einer Unrundheit des Werkzeugs **1** in jeder Richtung, der entsprechend der Position (Phase) des Werkzeugs **1** während einer Bearbeitung verursacht wird, auf der Seite der Zustellwellen korrigiert. Als ein Ergebnis kann das Werkzeug **1** oder das Werkstück **4** synchron mit einer Rotation des Werkzeugs **1** einer erzwungenen Schwingung unterzogen werden, so dass eine Schwingung des Werkzeugs **1** ausgelöscht wird, wobei der Einfluss des Betrags einer Unrundheit des Werkzeugs **1** unterdrückt wird.

[0047] Solch eine Steuerung wird entsprechend dem in Fig. 4 gezeigten Ablauf durchgeführt. Zuerst werden ein Zustellwellenüberlagerungsradius, eine Winkelgeschwindigkeit ω und eine Phasendifferenz θ von der externen Eingabevorrichtung **6** eingegeben und der Betrag einer Unrundheit von jeder Schneidkante **1a** und die Phase von jeder Schneidkante **1a** werden gemessen und in derselben Weise eingegeben (**S1**). Wenn Daten eingegeben sind, berechnet die Berechnungsvorrichtung **12** einen Korrekturwert für den Rotationswinkel (**S2**) und erlangt das Phasenverhältnis (Phasendifferenzkorrekturwert) zwischen jeder eingegebenen Position der Schneidkante **1a** und dem Werkzeugkörper auf der Basis des Rotationswinkels der Hauptspindel **2**, die durch die Hauptspindelrotationssteuervorrichtung **11** überwacht wird (**S3**).

[0048] Nach einem Erlangen des Phasendifferenzkorrekturwerts wandelt die Berechnungsvorrichtung **12** den Phasendifferenzkorrekturwert in Komponenten in den jeweiligen axialen Richtungen um, um die Komponenten für die jeweiligen Zustellwellen zu Zustellwellenanweisungswerten zu addieren (um genauer zu sein, den Betrag einer Unrundheit zu reduzieren) (**S4**). Dann steuert die numerische Steuervorrichtung **13** die Zustellwellenantriebseinheit **3** auf der Basis der resultierenden Zustellwellenanweisungswerte, um eine Bearbeitung auszuführen (**S5**).

[0049] Eine Bearbeitung wird durch Wiederholen des Steuerns in und nach dem Schritt (**S3**), in dem das Phasenverhältnis zwischen jeder eingegebenen Position der Schneidkante **1a** und dem Werkzeugkörper auf der Basis der Hauptspindeldrehzahl, die durch die Hauptspindelrotationssteuervorrichtung **11** überwacht wird, erlangt wird, ausgeführt (**S6**).

[0050] Die auf die Zustelloperation zu überlagernde erzwungene Schwingung hat eine Schwingungsfrequenz, die gleich der Drehzahl des Werkzeugs **1**, d.h. gleich der Unrundheit des Werkzeugs **1**, ist. Daher kann eine Schwingung auf die Zustellwellen **10a** und **10b** überlagert werden, um so den Betrag einer Unrundheit des Werkzeugs **1** während einer Umdrehung der Hauptspindel **2** zu unterdrücken, wobei der Einfluss des Betrags einer Werkzeugunrundheit ausgelöscht wird. Als ein Ergebnis kann die auf die Schneidkanten **1a** aufgebrachte maximale Schneidkraft reduziert werden, um ein Auftreten von Werkabplatzen zu reduzieren.

[0051] Zusätzlich kann das Reduzieren der maximalen Schneidkraft auch eine Ratterschwingung unterdrücken.

[0052] Der Ratterschwingungsunterdrückungseffekt aufgrund der oben beschriebenen Steuerung ist im Speziellen wie folgend. Zuerst wird der Ratterschwingungsunterdrückungseffekt beschrieben. Hier wurde ein Stahlmaterial unter Verwendung eines Fräswerkzeugs von einem Einstecktyp mit einem Durchmesser \varnothing von 50 mm bearbeitet. Ein vergleichendes Bearbeiten wurde unter Schneidbedingungen, von denen die Schneidgeschwindigkeit V_c 45 m/min war, die Zustellrate pro Schneidkante f_z 0,1 mm pro Schneidkante war, eine Nut mit einer axialen Schneidabmessung A_p von 18 mm und einer radialen Schneidabmessung A_e von 50 mm geschnitten wurde, der eingestellte Wert R des Radius einer winzigen Schwingung der Zustellwellen **10a** und **10b** entsprechend der vorliegenden Steuerung 0,1 mm war und die Frequenz der winzigen Schwingung f 4,8 Hz war (was dieselbe wie die Werkzeugrotationsfrequenz war), durchgeführt.

[0053] Als ein Ergebnis wurde bei einer Bearbeitung ohne Anwenden einer erzwungenen Schwingung ein Rattern bei einem Zustellratennachlauf von 70% verursacht, und eine bearbeitete Oberfläche mit Rattermarken wurde bereitgestellt. Jedoch wurde in dem Fall, in dem eine Bearbeitung unter den oben beschriebenen Bedingungen durchgeführt wurde, d.h. mit einer Überlagerung einer Schwingung mit einer Schwingungsfrequenz, die zu der Drehzahl des Werkzeugs **1** passt, und mit einem Schwingungsradius von 0,1 mm bis zu einem Zustellratennachlauf von 100% kein Rattern verursacht, und eine gute bearbeitete Oberfläche wurde bereitgestellt.

[0054] Als nächstes wird der Effekt der Steuerung zum Korrigieren des Betrags von Unrundheit des Werkzeugs **1** gemäß der vorliegenden Erfindung beschrieben. Hier wurde eine 6-4 Titanlegierung unter denselben Schneidbedingungen wie den oben beschriebenen Bedingungen zum Unterdrücken eines Ratterns bearbeitet. Die Messergebnisse der Schneidkraft während einer Bearbeitung (für zwei Umdrehungen) sind in **Fig. 5** und **Fig. 6** gezeigt. **Fig. 5** zeigt die Messergebnisse für einen Fall, in dem der Betrag einer Unrundheit des Werkzeugs **1** nicht korrigiert wurde. **Fig. 6** zeigt die Messergebnisse für einen Fall, in dem der Betrag von Unrundheit des Werkzeugs **1** korrigiert wurde. Es sollte jedoch beachtet werden, dass der Radius R einer winzigen Schwingung der Zustellwellen **10a** und **10b** nicht eingestellt war ($R = 0$ mm, nur Korrektur des Betrags von Werkzeugunrundheit). Eine Bearbeitung wurde mit einem an einem zu bearbeitenden Objekt angebrachten Werkzeugkraftmesser durchgeführt.

[0055] Wie in **Fig. 5** und **Fig. 6** gezeigt, reduzierte ein Steuern der Zustellwellen **10a** und **10b**, um so den Betrag einer Unrundheit des Werkzeugs **1** innerhalb einer Umdrehung zu unterdrücken, die maximale auf die Schneidkanten **1a** aufgebrachte Schneidkraft um ungefähr 10% und reduziert die relative Schneidkraftdifferenz um ungefähr die Hälfte. Als ein Ergebnis wurde ein Auftreten von Werkzeugabplatzen reduziert.

[0056] In der oben beschriebenen Ausführungsform wird eine Anweisung für den Betrag einer auf die Zustellwellen **10a** und **10b** zu überlagernden winzigen Verschiebung durch eine unter Verwendung von Formeln durchgeführte Annäherung korrigiert. Jedoch kann der Korrekturbetrag für die Phase als Punktgruppensdaten oder unter Berücksichtigung des Folgenden, Leistungsfähigkeit, Einfachheit, usw. der Steuerung in jeder geeigneten Form bereitgestellt werden. In dieser Ausführungsform wird das Werkstück **4** bewegt, um eine Schwingung für eine Y-Achsensteuerung zu erzeugen, und die Hauptspindel **2** (Werkzeug **1**) wird bewegt, um eine Schwingung für die X-Achsensteuerung zu erzeugen. Jedoch kann eine Schwingung sowohl in der X-Achsen- als auch in der Y-Achsenrichtung auf der Werkstück **4** -Seite, oder auf der Hauptspindel **2** -Seite erzeugt werden. Es sollte jedoch beachtet werden, dass ein zu der Hauptspindel **2** -Seite zu addierender Anweisungswert und ein zu der Werkstück **4** -Seite zu addierender Anweisungswert in der Phase um 180° unterschiedlich sind.

[0057] Als nächstes wird eine andere Ausführungsform zum Unterdrücken eines Auftretens von Werkzeugabplatzen beschrieben. In der Ausführungsform wird die auf die Zustellwelle **10** zu überlagernde erzwungene Schwingung entsprechend der Anzahl der Schneidkanten **1a** geändert. Zuerst wird eine durch

die oben angegebenen Formeln 1 und 2 angegebene winzige Schwingung für ein durch die X-Achsensteuerungseinheit **3a** und die Y-Achsensteuerungseinheit **3b** durchgeführtes axiales Zustellen zu NC-Programmanweisungen hinzugefügt. Die Winkelgeschwindigkeit einer erzwungenen Schwingung der Zustellwellen **10a** und **10b** wird auf der Basis der Werkzeugrotationswinkelgeschwindigkeit unter Verwendung der folgenden Formel **6** eingestellt.

Winkelgeschwindigkeit einer erzwungenen Schwingung =

$$(\text{Werkzeugrotationswinkelgeschwindigkeit}) \times (\text{Anzahl von Schneidkanten}) / (\text{Anzahl von Schneidkanten} + n)$$

Formel 6

[0058] In der Formel ist n eine später zu diskutierende vorbestimmte Ganzzahl, die Werkzeugrotationswinkelgeschwindigkeit ist $2 \times \pi \times$ (Werkzeugrotationsfrequenz) und die Werkzeugrotationsfrequenz ist $1 /$ (Werkzeugrotationsperiode). Die Werkzeugdrehzahl wird von einem Anweisungswert für die Hauptspindeldrehzahl in dem NC-Programm oder dem aktuellen Steuerungswert für die Hauptspindeldrehzahl erlangt.

[0059] In der Ausführungsform ist n wie folgend eingestellt. In dem Fall, in dem die Anzahl der Schneidkanten **1a** eine gerade Anzahl ist, wird n auf eine ungerade Zahl eingestellt, die eine negative Zahl, insbesondere eine ungerade Zahl, die nahe der Anzahl der Schneidkanten **1a** ist, sein kann. Mit n als einer ungeraden Zahl wird die Schneidkraft nacheinander um das Vielfache von Schneidkanten **1a**, **1a** geändert, um einen Zustand zu vermeiden, in dem die Schneidkraft dauerhaft auf eine bestimmte Schneidkante aufgebracht wird. Dies kommt daher, dass durch Steuern des Verhältnisses zwischen der Rotationswinkelgeschwindigkeit des Werkzeugs **1** und der Winkelgeschwindigkeit von einer erzwungenen Schwingung für eine Zustellwellensteuerung entsprechend dem Verhältnis zwischen der Anzahl von Schneidkanten und einem Ansteigen und einem Abnehmen davon, das Verhältnis zwischen der Position mit einer maximalen Amplitude in einer Schwingungssteuerung und der Position der Schneidkanten **1a** nacheinander bei jeder Rotation des Werkzeugs **1** geändert wird.

[0060] In dem Fall, in dem die Anzahl der Schneidkanten **1a** eine ungerade Zahl ist, muss andererseits n nicht notwendigerweise eine ungerade Zahl oder eine gerade Zahl sein. In dem Fall, in dem die Anzahl der Schneidkanten **1a** eine ungerade Zahl ist, ist es unabhängig von dem Wert von n unwahrscheinlich, dass die Schneidkraft intensiv auf eine spezielle Schneidkante aufgebracht wird. In dem Fall, in dem die Anzahl der Schneidkanten **1a** eine gerade Anzahl ist, kann derselbe Effekt nur erreicht werden, wenn ein Bearbeiten eine lange Zeit durchgeführt wird, selbst wenn n keine Ganzzahl ist.

[0061] Der Ablauf der Steuerung wird unter Bezugnahme auf das Ablaufdiagramm von **Fig. 7** beschrieben. Zuerst wird die Anzahl der Schneidkanten und n von der externen Eingabevorrichtung **6** eingegeben (**S11**). Die Berechnungsvorrichtung **12** berechnet die Winkelgeschwindigkeit einer erzwungenen Schwingung gemäß der aktuellen Steuerung (**S12**) aus den eingegebenen Daten und der von der Hauptspindelrotationssteuerungsvorrichtung **11** erhaltenen Werkzeugdrehzahl. Die numerische Steuerungsvorrichtung **13** steuert die Zustellwellenantriebseinheit **3** auf der Basis der berechneten Winkelgeschwindigkeit (**S13**), um eine Bearbeitung durchzuführen. Die Zustellwellen **10a** und **10b** werden gesteuert bis eine Bearbeitung fertig gestellt ist (**S14**).

[0062] Wegen der Steuerung hat eine auf die Zustellwellen **10a** und **10b** zu überlagernde Schwingung eine Schwingungsfrequenz, die sich von der Drehzahl des Werkzeugs **1** eher wegbewegt als damit synchronisiert wird. Daher kann die maximale Schneidkraft, die im Stand der Technik auf eine spezielle von den Schneidkanten **1a** aufgebracht würde, auf andere Schneidkanten **1a** verteilt werden. Als ein Ergebnis kann die auf die Schneidkanten **1** aufzubringende Schneidkraft verteilt werden, um in einer gleichmäßig verteilten Weise aufgebracht zu werden. Dies ermöglicht es, ein Werkzeugabplatzen zu unterdrücken, um die Lebensdauer des Werkzeugs **1** zu erhöhen und gleichzeitig wegen einer Verteilung der maximalen Schneidkraft eine Ratterschwingung des Werkzeugs **1** zu unterdrücken.

[0063] Die oben beschriebene Ausführungsform, in der eine Schwingung, die nicht mit der Drehzahl des Werkzeugs **1** synchronisiert ist, überlagert wird, ist beim Unterdrücken einer Ratterschwingung unabhängig von der Anzahl der Schneidkanten des Werkzeugs **1** wirksam, und wirksam, wenn das Werkzeug **1** eine einzelne Schneidkante **1a** hat.

[0064] Die Ergebnisse einer entsprechend der oben beschriebenen Steuerung ausgeführten Bearbeitung sind im Speziellen wie folgend. Zuerst wurde, um den normalen Bearbeitungszustand zu überprüfen, eine 6-4 Titanlegierung unter Verwendung eines Fräs-werkzeugs von einem Einstecktyp mit einem Durchmesser \varnothing von 50 mm bearbeitet. Schnittbedingungen waren so, dass die Schneidgeschwindigkeit V_c 45 m/min war, die Zustellrate pro Schneidkante f_z 0,1 mm / Schneidkante war, eine Nut mit einer axialen Schneidabmessung A_p von 18 mm und einer radialen Schneidabmessung A_e von 50 mm geschnitten wurde, die Anzahl von Schneidkanten Z 4 war, der Radius R einer winzigen Schwingung der Zustellwellen **10a** und **10b** entsprechend der vorliegenden Steuerung 80 μm war und die Frequenz der winzigen Schwingung f 4,77 Hz war (mit $n=0$ und mit der Winkelgeschwindigkeit einer erzwungenen Schwingung,

die gleich der Werkzeugrotationswinkelgeschwindigkeit ($n=0$ in der o.a. Formel 6)).

[0065] Fig. 8 ist ein Diagramm, das die Schneidkraftverteilung während einer Bearbeitung, die unter solchen Bedingungen durchgeführt wurde, zeigt, in dem #1 bis #4 die Nummer der vier Schneidkanten **1a** angibt. Solche Daten wurden während einem Bearbeitens mit einem an einem zu bearbeitenden Objekt angebrachten Werkzeugkraftmesser erlangt.

[0066] Als nächstes wurde, um den Effekt der vorliegenden Steuerung zu verifizieren, ein Bearbeiten mit der auf $f = 3,82$ Hz geänderten Frequenz (**4/5** der Werkzeugrotationsfrequenz, $n=1$ in der o.a. Formel) durchgeführt. Fig. 9 ist ein Diagramm, das die Schneidkraftverteilung während einer unter solchen Bedingungen durchgeführten Bearbeitung zeigt, das einen Fall zeigt, in dem die Frequenz einer erzwungenen Schwingung von der Werkzeugdrehzahl wegbewegt wird.

[0067] Aus den Bearbeitungsergebnissen von Fig. 8 und Fig. 9 kann ersehen werden, dass in einem Fall von $n = 0$ die maximale Schneidkraft die gesamte Zeit nur auf eine spezielle Schneidkante aufgebracht wurde (auf die #2 Schneidkante **1a** in Fig. 8 konzentriert), aber dass in einem Fall von $n=1$, die maximale Schneidkraft nacheinander zwischen den Schneidkanten **1a** verschoben wurde. Im Speziellen bilden in Fig. 9 fünf Spitzen eine Periode, in der der maximale Wert nacheinander von #3 nach #4 verschoben wird. Als ein Ergebnis wurde ein Auftreten von Werkzeugabplatzen reduziert.

[0068] Wie oben beschrieben wurde, kann eine sich geringfügig verschiebende Schwingung, die bezüglich der Werkzeugdrehzahl auf die Zustellwelle **10** überlagert wird (z.B. wie oben diskutiert, vier fünftel der Werkzeugrotationsfrequenz,) die maximale Schneidkraft auf andere Schneidkanten verteilen, die andererseits auf eine spezielle der Schneidkanten **1a** aufgebracht würde, und bringt die Schneidkraft in einer gleichmäßig verteilten Weise auf die Schneidkanten **1a** auf. Da die maximale auf die Schneidkanten **1a** aufzubringende Schneidkraft verteilt ist, kann gleichzeitig auch eine Ratterschwingung unterdrückt werden.

[0069] Die Formeln zum Steuern einer erzwungenen Schwingung sind nicht auf die gemäß der oben beschriebenen Ausführungsform beschränkt und können in geeigneter Weise entsprechend den Bearbeitungsbedingungen, etc., modifiziert werden, ohne sich von dem Bereich und dem Geist der vorliegenden Erfindung zu entfernen. Anstelle der Formeln können Punktgruppendaten mit einer vorbestimmten Periode verwendet werden.

Patentansprüche

1. Bearbeitungsschwingungsunterdrückungsverfahren für eine Werkzeugmaschine, die ein Werkstück (4) bearbeitet während sie an eine Hauptspindel (2) montiertes Werkzeug (1) rotiert, wobei das Verfahren aufweist:

ein Bearbeiten des Werkstücks (4), während eine erzwungene Schwingung mit einer vorbestimmten Amplitude und einer vorbestimmten Schwingungsfrequenz während des Bearbeitens auf eine Zustelloperation für eine Zustellwelle (10) aufgebracht wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass

das Werkstück (4) mit einer während des Bearbeitens auf die Zustelloperation für die Zustellwelle (10) überlagerten ersten Schwingung und zweiten Schwingung bearbeitet wird, wobei die erste Schwingung eine bezüglich der Drehzahl des Werkzeugs (1) um einen vorbestimmten Betrag verschobene Schwingungsfrequenz hat, und die zweite Schwingung eine spezifische Amplitude und eine Schwingungsfrequenz hat, die gleich der Drehzahl des Werkzeugs (1) ist.

2. Bearbeitungsschwingungsunterdrückungseinrichtung (5) für eine Werkzeugmaschine, die ein Werkstück (4) bearbeitet während sie eine Hauptspindel (2) rotiert, an die ein Werkzeug (1), das eine Schneidkante oder mehrere Schneidkanten (1a) hat, montiert ist, um zumindest eines von dem Werkstück (4) und dem Werkzeug (1) in einer Ebene, die rechtwinklig zu der Hauptspindel (2) ist, zuzustellen, wobei die Einrichtung (5) aufweist:

eine Bedingungsingabeeinheit, die eine Amplitude und eine Phase des Werkstücks (4) einstellt;

eine Schwingungsberechnungseinheit, die auf der Basis der eingegebenen Amplitude und Phase des Werkstücks (4) eine Schwingungsphase einer Zustellwelle (10) berechnet, um ein Zustellwellensteuerungssignal zu erzeugen; und

eine Zustellsteuerungseinheit, die ein Zustellen der Zustellwelle (10) steuert, wobei

die Zustellsteuerungseinheit eine auf dem Zustellwellensteuerungssignal basierende erzwungene Schwingung auf das Werkstück (4) aufbringt, **dadurch gekennzeichnet**, dass

das von der Schwingungsberechnungseinheit ausgegebene Zustellwellensteuerungssignal ein Signal ist, das durch Überlagern eines ersten Schwingung verursachenden Steuerungssignals auf ein zweite Schwingung verursachendes Steuerungssignal erhalten wird, wobei die erste Schwingung eine Schwingungsfrequenz hat, die bezüglich der Drehzahl des Werkzeugs (1) um einen vorbestimmten Betrag verschoben ist, und die zweite Schwingung eine Schwingungsfrequenz hat, die gleich der Drehzahl des Werkzeugs (1) ist; und

die Zustellsteuerungseinheit eine auf den zwei Arten von Steuerungssignalen basierende erzwungene Schwingung auf das Werkstück (4) aufbringt.

3. Bearbeitungsschwingungsunterdrückungseinrichtung (5) für eine Werkzeugmaschine gemäß Anspruch 2, ferner aufweisend:

einen Werkzeuginformationeingabeabschnitt, der eine Rotationsphase des Werkzeugs (1) erlangt, wobei

das von der Schwingungsberechnungseinheit zum Ausführen der erzwungenen Schwingung ausgegebene Zustellwellensteuerungssignal ein Signal ist, das eine Schwingung mit einer im Voraus eingestellten Amplitude und mit einer bezüglich einer Drehzahl des Werkzeugs (1) um einen vorbestimmten Betrag verschobenen Schwingungsfrequenz verursacht.

4. Bearbeitungsschwingungsunterdrückungseinrichtung (5) für eine Werkzeugmaschine gemäß Anspruch 2, ferner aufweisend:

einen Werkzeuginformationeingabeabschnitt, der eine Rotationsphase des Werkzeugs (1) erlangt, wobei

das von der Schwingungsberechnungseinheit zum Ausführen der erzwungenen Schwingung ausgegebene Zustellwellensteuerungssignal ein Signal ist, das eine Schwingung mit einer im Voraus eingestellten Amplitude und mit einer Schwingungsfrequenz, die gleich einer Drehzahl des Werkzeugs (1) ist, verursacht.

Es folgen 10 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

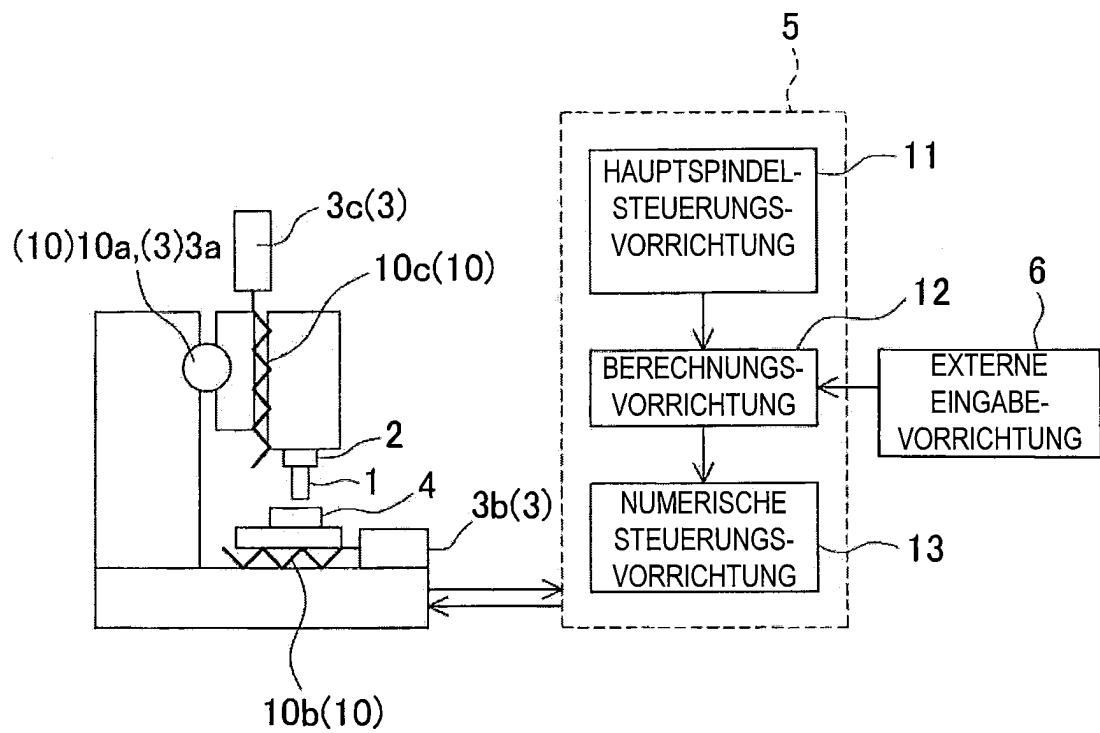


FIG. 2A

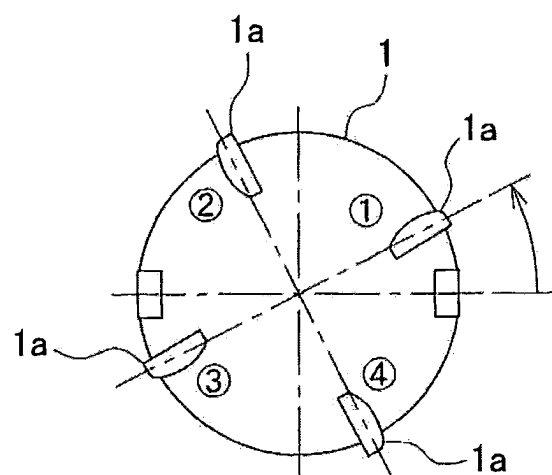


FIG. 2B

SCHNEIDKANTE NR.	①	②	③	④
PHASEN- DIFFERENZ (°)	35	125	215	305
BETRAG EINER WERKZEUG- UNRUNDHEIT (μm)	30	10	0	40

FIG. 3

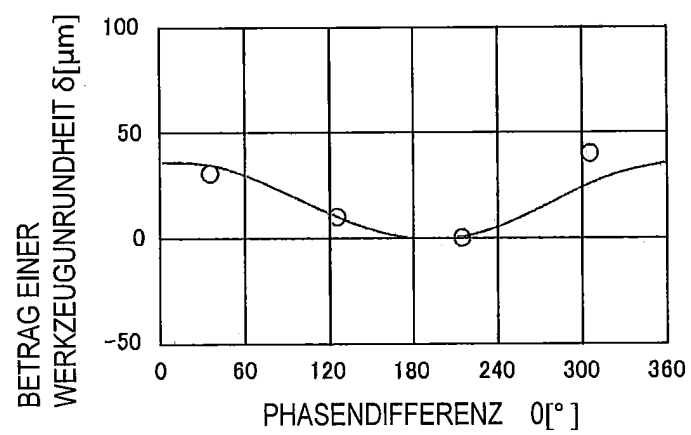


FIG. 4

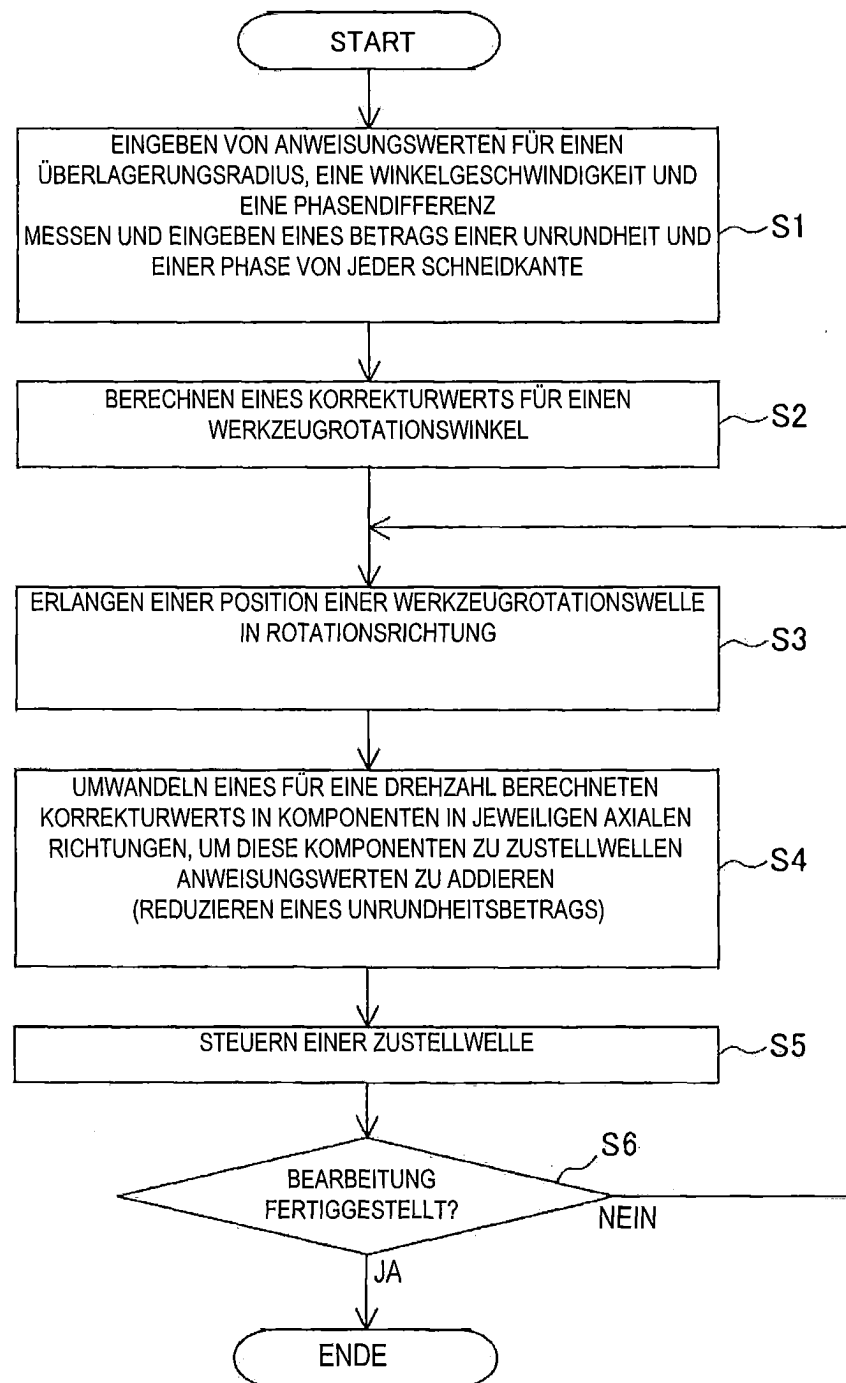


FIG. 5

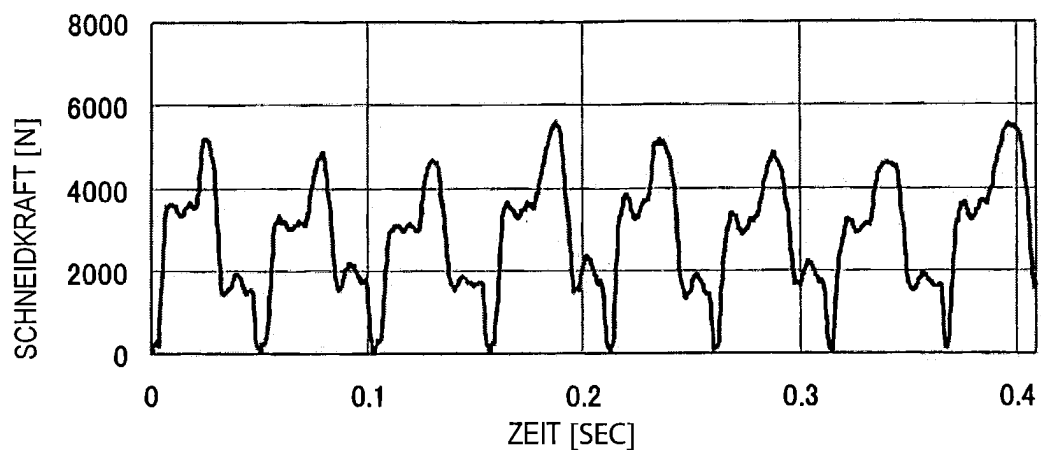


FIG. 6

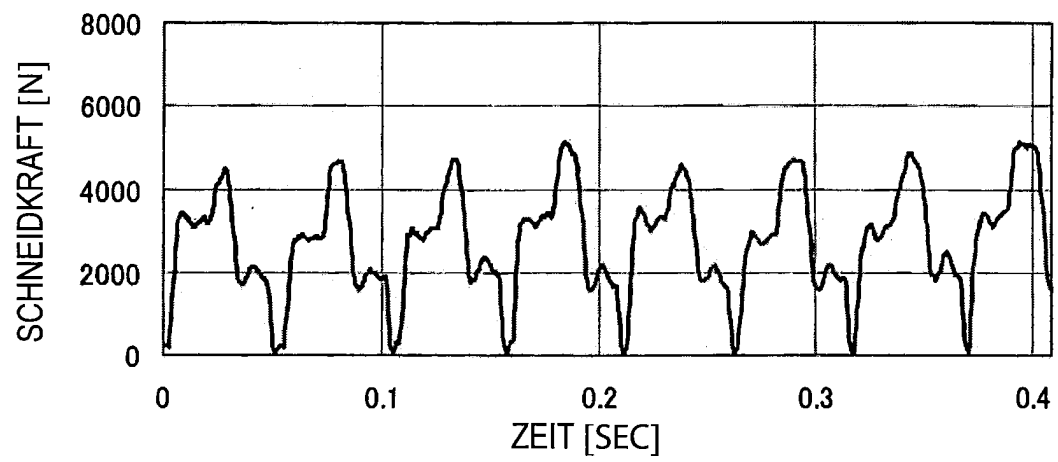


FIG. 7

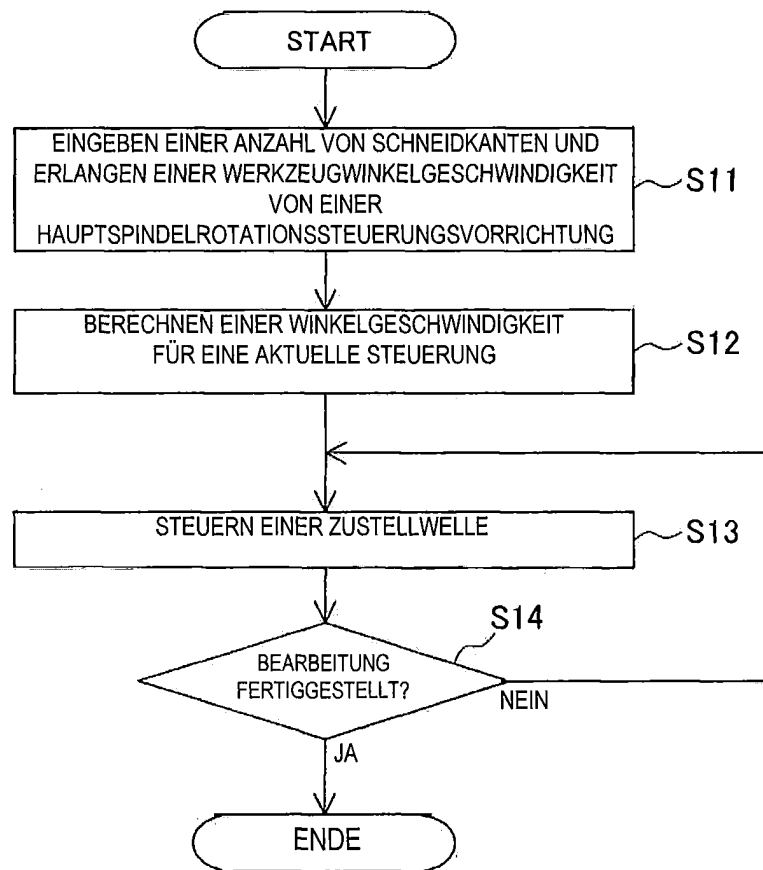


FIG. 8

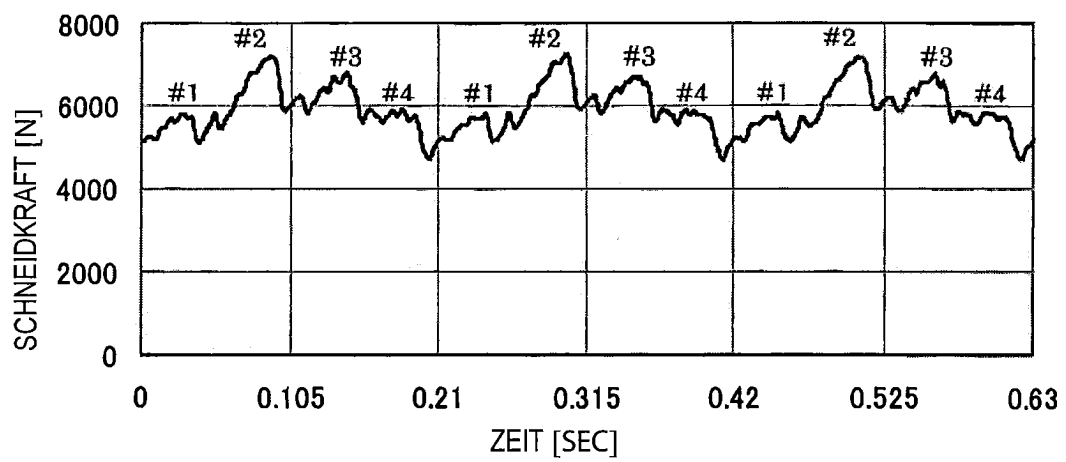


FIG. 9

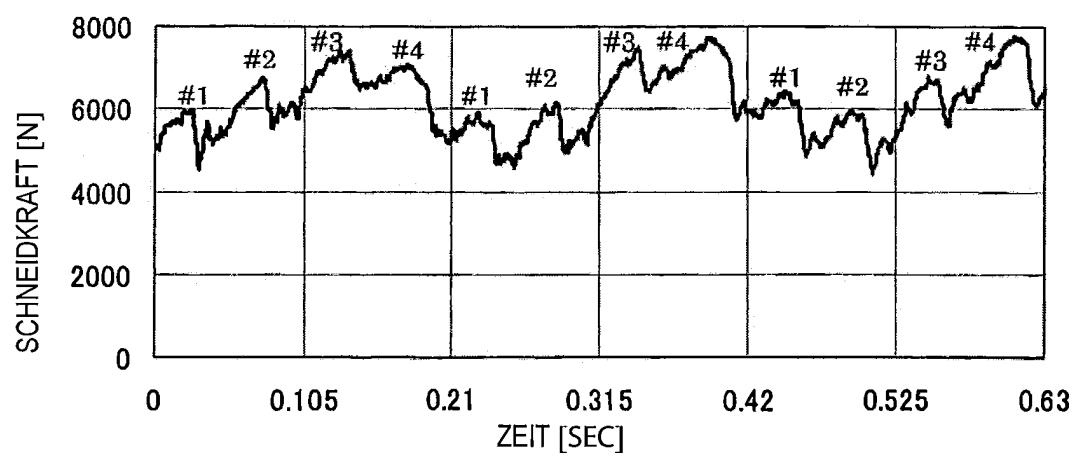


FIG. 10

