(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 29 910 T2** 2006.10.19

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 125 666 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 29 910.1**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP99/05609**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 970 347.3**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2000/021705**
(86) PCT-Anmeldetag: **12.10.1999**
(87) Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung: **20.04.2000**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **22.08.2001**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **15.02.2006**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **19.10.2006**

(51) Int Cl.[8]: ***B23C 3/04*** (2006.01)
B23C 3/34 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

28805998	**09.10.1998**	**JP**
4899799	**25.02.1999**	**JP**
28753799	**08.10.1999**	**JP**

(73) Patentinhaber:
Toyota Jidosha K.K., Toyota, Aichi, JP

(74) Vertreter:
TBK-Patent, 80336 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

(72) Erfinder:
NONAKA, Toyota Jidosha Kabushiki Kaisha, Hiroki, Toyota-shi, Aichi 471-8571, JP

(54) Bezeichnung: **BEARBEITUNGSVORRICHTUNG UND METHODE**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Bearbeitungsgerät und ein Bearbeitungsverfahren für die Bearbeitung eines Werkstücks durch relatives Drehen eines Werkzeugs und des Werkstücks und, genauer gesagt, auf ein Gerät und ein Verfahren für das Drehen und Umlaufen entweder des Werkzeugs oder des Werkstücks.

TECHNISCHER HINTERGRUND

[0002] Bei einem sogenannten Konturbearbeitungsvorgang oder einem Bearbeitungsvorgang läuft ein Schneidwerkzeug, das eine Schneidklinge hat, um ein Bearbeitungsmaterial (Werkstück), während das Schneidwerkzeug um seine eigene Achse gedreht wird. Dieses Bearbeitungsverfahren wird durch einen Schaftfräsvorgang kennzeichnend beispielhaft erläutert, von dem ein Beispiel in der japanischen Patentveröffentlichung 63-212442 (JP-A-62-212442) beschrieben ist. Gemäß dem Konturbearbeitungsverfahren, das in dieser Veröffentlichung beschrieben ist, wird, bevor das Werkstück durch Drehen und Umlaufen einer Schaftfräse bearbeitet wird, ein Drehdurchmesser einer Klinge der drehenden und umlaufenden Schaftfräse mit einem Laserstrahl gemessen, und ein Werkzeugdurchmesser der Schaftfräse wird mittels einer Werkzeugdurchmesserausgleichsfunktion einer numerischen Steuerungseinheit auf der Basis des Ergebnisses der vorgenannten Messung ausgeglichen. Auf der anderen Seite wird bei einem tatsächlichen Schneidvorgang die Schaftfräse zuerst in die Mitte einer zu schneidenden Bohrung eingeführt und von dort zu einer Position bewegt, in der die Klinge der Schaftfräse die Innenwand des zu schneidenden Lochs berührt, genauer gesagt wird sie in eine dem Bearbeitungsdurchmesser entsprechende Position und danach entlang der Innenfläche der zu schneidenden Bohrung bewegt. Kurzum wird die Schaftfräse, sofern sie an der Spindel eines Bearbeitungsgeräts montiert ist, durch Drehen der Schaftfräse um ihre eigene Achse und durch Bewegen der Spindel in einer Kreisbewegung in einer sogenannten X-Y-Ebene zum Umlaufen gebracht.

[0003] Zusätzlich zu dem vorgenannten Gerät ist eine weitere Art eines Gerät bekannt, der einen Mechanismus eines Polarkoordinatensystems verwendet. Genauer gesagt sind an einem vorderen Ende eines Hauptarms, der durch einen Motor gedreht wird oder eine oszillierende Schwenkbewegung verliehen bekommt, ein Motor für die Spindel und ein Werkzeugwellenarm montiert. An einem vorderen Ende des Werkzeugwellenarms ist eine Werkzeugwelle montiert, die durch den Motor für die Spindel gedreht wird. Bei dieser Art Gerät wird die Werkzeugwelle in einer Kreisbewegung bewegt, das heißt entweder dadurch, dass dem Hauptarm, der mit dem Werkzeugwellenarm verbunden ist, eine Schwenkbewegung verliehen wird, oder durch Drehen des Hauptarms zum Umlaufen gebracht. Der Umlaufradius der Werkzeugwelle wird durch Variieren von relativen Winkeln von Werkzeugwellenarm zu Hauptarm geändert.

[0004] Es ist noch eine weitere Art eines Geräts bekannt, das in der Art aufgebaut ist, dass eine Werkzeugwelle so an einer ersten Achse montiert ist, dass sie sich in ihre radiale Richtung bewegt. Diese Werkzeugwelle wird mit der ersten Achse gedreht, was die Werkzeugwelle zum Umlaufen bringt. Der Umlaufradius der Werkzeugwelle wird durch Variieren der Positionen der Werkzeugwelle in der radialen Richtung der ersten Achse geändert.

[0005] In dem vorgenannten Konturbearbeitungsvorgang entspricht eine relative Geschwindigkeit der Schneidklinge zu dem Arbeitsmaterial, das heißt eine Schnittgeschwindigkeit, der Summe einer Kreisgeschwindigkeit der Schneidklinge, die sich infolge des Drehens des Werkzeugs bewegt, und einer Geschwindigkeit einer Kreisbewegung, die durch die Schneidklinge infolge des Umlaufens des Werkzeugs ausgeführt wird. Gemäß dem vorgenannten herkömmlichen Konturbearbeitungsvorgang wird das Werkzeug allerdings dadurch zum Umlaufen gebracht, dass der Spindel, an der das Werkzeug montiert ist, eine kreisförmige Bewegung verliehen wird, so dass die Umlaufgeschwindigkeit weit geringer ist als die Drehgeschwindigkeit. Daher wird die Schnittgeschwindigkeit im Wesentlichen durch die Drehgeschwindigkeit des Werkzeugs, das heißt die Drehzahl der Spindel bestimmt.

[0006] In einem herkömmlichen Gerät, das einen Mechanismus des sogenannten X-Y-Koordinatensystems verwendet, wird das Werkzeug durch Koordinateneingabe bei den Vorschüben der Spindel in den Bisektionsrichtungen in der X-Y-Ebene zum Umlaufen gebracht. Diese Beschränkung der Steuerung macht es schwierig, das Bearbeitungswerkzeug mit einer höheren Geschwindigkeit umlaufen zu lassen. Wenn die Spindel in der Bisektionsrichtung bewegt wird, wird zudem ein Spindelkopf vertikal entlang eines Ständers bewegt, und gleichzeitig damit wird der Ständer horizontal an einem Bett bewegt. Daher haben die zu bewegenden Elemente eine so große Masse, dass die Spindel nicht mit einer höheren Geschwindigkeit gedreht werden kann.

[0007] Auf der anderen Seite kann das selbe Problem in einem Gerät auftreten, das ein Polarkoordinatensystem verwendet, in dem eine Hin- und Herbewegung des Hauptarms über sein Führungsende auf den Werkzeugwellenarm übertragen wird, um den Schaft zum Umlaufen zu bringen. Insbesondere wird der Hauptarm mit einem Motor hin- und herbewegt,

der der Werkzeugwelle eine Hin- und Herbewegung verleiht, und einem Motor, der die Werkzeugwelle dreht, und die Werkzeugwelle wird, wie dies in dem vorgenannten Gerät der Fall ist, das das X-Y-Koordinatensystem verwendet, durch zusammenwirkendes Antreiben dieser zwei Motoren zum Umlaufen gebracht. Daher ist es schwierig, die Drehgeschwindigkeit der Werkzeugwelle zu erhöhen.

[0008] Bei noch einer anderen Art von Gerät wird auch die Werkzeugwelle mit einem Motor für das Drehen der Werkzeugwelle zum Umlaufen gebracht, so dass die gesamte zum Umlaufen zu bringende Masse erhöht wird, was es schwierig macht, die Werkzeugwelle mit einer höheren Geschwindigkeit zum Umlaufen zu bringen. In einem Gerät, das so aufgebaut ist, dass es die Werkzeugwelle zum Umlaufen bringt, ändert der Motor für das Drehen der Werkzeugwelle seine Position gemäß einer Änderung des Umlaufradius der Werkzeugwelle, so dass sich der Schwerpunkt eines Drehelements als Ganzes ändert. Sofern die Umlaufgeschwindigkeit der Werkzeugwelle anwächst, kann sich daher seine Vibration verstärken.

[0009] Kurzum ist es im Stand der Technik unmöglich, die Umlaufgeschwindigkeit der Werkzeugwelle oder des daran montierten Schneidwerkzeugs zu erhöhen, und ein Verhältnis der Umlaufgeschwindigkeit der Spindel zu der Schneidgeschwindigkeit ist nicht größer als 2 bis 3 %, so dass die Vorschubrate pro Umlauf des Werkzeugs vermindert ist. Um die Arbeitseffizienz zu verbessern, muss daher der Arbeitsvorgang durch eine Erhöhung der Drehgeschwindigkeit des Werkzeugs oder einer Erhöhung der Breite der Schneidklinge ausgeführt werden.

[0010] Wenn die Schneidbreite erhöht wird, wird allerdings der Bereich, in dem die Späne die Schneidklinge berühren verbreitert, so dass merklich Reibung und Wärme erzeugt wird, wodurch die Lebensdauer des Werkzeugs verkürzt wird. Dies führt zu dem Nachteil, dass die Arbeitseffizienz stark beschränkt ist. Die vorgenannte Konturbearbeitungsarbeit ist der sogenannte intermittierende Schneidvorgang, bei dem die Schneidklinge wiederholt in das Werkstück schneidet. Auf der anderen Seite wird bei dem Verfahren des Standes der Technik, wie es oben beschrieben ist, das Werkzeug bei einer geringen Geschwindigkeit und einer kleinen Vorschubrate zum Umlaufen gebracht, das heißt, dass das Werkzeug mit einer hohen Geschwindigkeit um seine eigene Achse gedreht wird, womit die Anzahl der wiederholten Schnitte der Schneidklinge in den Werkstoff erhöht wird. Wenn dieser Schneidvorgang durchgeführt wird, werden mit anderen Worten viele breite und lange Späne erzeugt. Daher wirkt eine Stoßkraft häufiger auf die Schneidklinge. Zudem ist diese Stoßkraft so stark, dass die Wahrscheinlichkeit, dass sich die Lebensdauer des Werkzeugs verkürzt, erhöht wird, was die Arbeitseffizienz begrenzt.

[0011] Die Dokumente US-A-5482415, US-A-4573840 und JP-A-60207709 bilden weiteren Stand der Technik.

[0012] Genauer gesagt offenbart das Dokument US-A-5482415 die Merkmale des Oberbegriffs des unabhängigen Anspruchs 1.

[0013] Darüber hinaus beschreibt das Dokument US-A-4573840 eine Kolbensenkmaschine für das Ausbilden einer ringförmigen Senkung in der Außenfläche des massiven Endes eines Kolbens. Diese Maschine hat eine werkzeugstützende Spindel, die um ihre eigene Mittelachse gedreht wird und gleichzeitig um eine exzentrische Achse zum Umlaufen gebracht wird, wobei die Exzentrizität der Umlaufachse einstellbar ist, um Kolben mit verschiedenen Durchmessern aufnehmen zu können. Das Einstellen wird durch Drehen eines Spindelgehäuses ausgeführt, wodurch die Spindel zum Umlaufen gebracht wird, wobei das Spindelgehäuse durch einen zylindrischen Träger gedreht wird.

[0014] Schlussendlich schildert das Dokument JP-A-60207709 eine Einrichtung für das Schneiden von Rohrenden. In dieser Einrichtung ist ein Schneidwerkzeug demontierbar mit einer Hauptwelle verbunden. Diese Hauptwelle steht von einem Halterohr und einem Außenrohr hervor. Die Hauptwelle ist exzentrisch gegenüber dem Außenrohr gestaltet. Somit wird das Schneidwerkzeug durch die Hauptwelle gedreht und vollführt aufgrund des gleichzeitigen Umlaufens der Hauptwelle eine planetenartige Bewegung. Der Exzentrizitätsbetrag der Hauptwelle kann eingestellt werden.

[0015] Die vorliegende Erfindung wurde in Anbetracht des derzeitigen Standes der Technik gemacht, wie er oben beschrieben ist, und hat eine Aufgabe, ein Gerät und ein Verfahren, das dieses Gerät verwendet, bereit zu stellen, die in der Lage sind, die Arbeitseffizienz in einem Bearbeitungsvorgang durch Drehen eines Werkzeugs und eines Werkstücks relativ zueinander zu erhöhen.

[0016] Eine weitere Absicht der Erfindung ist es, ein Gerät und ein Verfahren, das dieses Gerät verwendet, bereit zu stellen, die in der Lage sind, die Arbeitseffizienz und die Bearbeitungsgenauigkeit zu erhöhen, indem es möglich gemacht wird, ein Verhältnis zwischen einer Drehzahl des Werkzeugs oder des Werkstücks und einer Umlaufzahl des Werkzeugs oder des Werkstücks zu variieren.

[0017] Noch eine weitere Absicht der Erfindung ist es, ein Bearbeitungsgerät bereit zu stellen, das in der Lage ist, eine Umlaufgeschwindigkeit des Werkzeugs oder des Werkstücks auf ein hohes Niveau anzuhe-

ben.

[0018] Eine weitere Absicht der Erfindung ist es, ein Bearbeitungsgerät bereit zu stellen, das in der Lage ist, einen Umlaufradius des Werkzeugs oder des Werkstücks während des Drehens und Umlaufens des Werkzeugs oder des Werkstücks zu ändern.

[0019] Eine weitere Absicht der Erfindung ist es, ein Gerät und ein Verfahren bereit zu stellen, das dieses Gerät verwendet, die in der Lage sind, die Arbeitseffizienz zu erhöhen, ohne die Lebensdauer des Werkzeugs zu verkürzen.

OFFENBARUNG DER ERFINDUNG

[0020] Das Bearbeitungsgerät der Erfindung ist versehen mit einer Spindel, die sich dreht, während ein Werkzeug oder ein Werkstück montiert wird, und einer Umlaufwelle, die sich um ihre Mittelachse dreht, und die Spindel ist von der Umlaufwelle drehbar an einer zu der Mittelachse versetzten Position der Umlaufwelle gehalten. Dieses Bearbeitungsgerät ist auch mit einem Drehantriebsmechanismus für die Übertragung einer Kraft durch ein Drehelement, das sich um eine Mittelachse der Drehung der Umlaufwelle dreht, und der Umlaufwelle oder einem Drehelement, das sich einstückig mit der Umlaufwelle dreht, auf die Spindel versehen, um diese zu drehen, während sich die Umlaufwelle und die Spindel in jeweils verschiedenen Geschwindigkeiten drehen.

[0021] Gemäß dem Bearbeitungsgerät der Erfindung wird daher, wenn die Spindel und die Umlaufwelle um ihre jeweils eigenen Mittelachsen gedreht werden, das Werkzeug oder das Werkstück, das an einem vorderen Ende der Spindel montiert ist, gedreht und zum Umlaufen gebracht. Durch unabhängiges Drehen der Umlaufwelle wird in diesem Fall das an der Spindel montierte Werkzeug oder Werkstück zum Umlaufen gebracht. Daher ist die Umlaufgeschwindigkeit nicht beschränkt, so dass es möglich ist, ein Geschwindigkeitsverhältnis durch Umlaufen in der Arbeitsgeschwindigkeit, das heißt einer relativen Vorschubgeschwindigkeit oder einer Vorschubrate zwischen dem Werkzeug und dem Werkstück, zu erhöhen.

[0022] Gemäß dem Bearbeitungsgerät der Erfindung ist zudem vorgesehen: ein Umlaufmotor, der einen Basisabschnitt hat, an dem der Drehantriebsmechanismus fixiert ist, ein Umlaufübersetzungsmechanismus, der die Bewegungskraft von dem Umlaufmotor auf die Umlaufwelle überträgt, ein Spindelmotor, der an dem Basisabschnitt fixiert ist, und ein Übersetzungsmechanismus für die Spindel, der die Bewegungskraft von dem Motor für die Spindel auf die Spindel überträgt.

[0023] Mit diesem Aufbau ist einer der zwei Motoren fixiert, und daher ist die Gesamtmasse der Drehelemente reduziert, wodurch die Umlaufgeschwindigkeit der Spindel auf einem hohen Niveau angehoben wird. Der Übersetzungsmechanismus für die Spindel ist in der Weise aufgebaut, dass ein Moment durch eine Rolle übertragen wird, wodurch eine Schwankung in der Drehung der Spindel verhindert wird, um Arbeitsvorgänge mit einer hohen Genauigkeit zu ermöglichen.

[0024] Gemäß dem Bearbeitungsgerät der Erfindung ist in der Umlaufwelle eine Exzenterwelle angebracht, die um eine Achse dreht, die zu der Mittelachse der Umlaufwelle exzentrisch ist. An der zu der Mittelachse der Exzenterwelle exzentrischen Position wird die Spindel drehbar gehalten.

[0025] Mit diesem Aufbau wird die Exzentrizität der Werkzeugs oder des Werkstücks zu der Exzenterwelle, das heißt der Umlaufradius des Werkzeugs oder des Werkstücks, durch Drehen der Exzenterwelle geändert. Dies macht es möglich, eine relative Vorschubrate des Werkzeugs und des Werkstücks oder einen Arbeitsradius frei zu ändern. Durch Drehen der Exzenterwelle während des Arbeitsvorgangs können zudem Arbeitsvorgänge wie beispielsweise Kegelbohren oder Aussparvorgänge durchgeführt werden.

[0026] Das Gerät der Erfindung kann mit einem Umlaufradiusänderungsmechanismus versehen sein, um die Exzenterwelle relativ zu der Umlaufwelle zu drehen, während der Exzenterwelle ermöglicht wird, sich einstückig mit der Umlaufwelle zu drehen.

[0027] Das zusätzliche Vorsehen dieses Umlaufradiusänderungsmechanismus ermöglicht dem an der Spindel fixierten Werkzeug oder Werkstück sich zu drehen und zum Umlaufen gebracht zu werden, während es seinen Umlaufradius ändert, was es einfach macht, einen Arbeitsvorgang auszuführen, bei dem der Radius eines zu bearbeitenden Objekts geändert wird, zum Beispiel eine Kegelbohrung oder einen Aussparvorgang.

[0028] Dieser Umlaufradiusänderungsmechanismus ist auch so aufgebaut, dass er ein Differentialgetriebe für das Ausführen einer Differentialdrehung mittels dreier Drehelemente besitzt, die sich relativ zueinander drehen.

[0029] Unter diesen drei Drehelementen ist ein erstes Drehelement mit dem Übersetzungsmechanismus für das Umlaufen verbunden, ein zweites Drehelement ist mit der Exzenterwelle verbunden und ein drittes Drehelement ist mit einem Motor für das Ändern des Umlaufradius verbunden, der an dem Basisabschnitt fixiert ist.

[0030] Infolge dieses Aufbaus können ein Mecha-

nismus für das Drehen der Spindel, ein Mechanismus für das Umlaufen der Spindel und ein Mechanismus für das Ändern des Umlaufradius unabhängig voneinander tätig sein, und ein schweres Element wie beispielsweise ein Motor wird nicht in einer Kreisbewegung mitgeführt. Dies macht es möglich, die Spindel mit einer höheren Geschwindigkeit umlaufen zu lassen und ein Verhältnis der Drehzahl der Spindel zu der Umlaufzahl der selben frei festzulegen und des weiteren den Umlaufradius der Spindel während ihres Umlaufens frei zu ändern.

[0031] In einem Bearbeitungsgerät, das mit der vorgenannten Exzenterwelle versehen ist, ist die Spindel so ausgewuchtet, dass der Schwerpunkt mit ihrer Mittelachse in Deckung ist, wobei die Exzenterwelle, die die Spindel an ihrer exzentrischen Position hat, so ausgewuchtet ist, dass der Schwerpunkt mit ihrer Mittelachse in Deckung ist, und die Umlaufwelle, die die Exzenterwelle an sich angebaut hat, die die Spindel drehbar hält, so ausgewuchtet ist, dass der Schwerpunkt mit ihrer Mittelachse in Deckung ist.

[0032] Mit diesem Aufbau ändert sich der Schwerpunkt des gesamten Bearbeitungsgeräts im Wesentlichen sogar dann nicht, wenn der Umlaufradius der Spindel durch Drehen der Exzenterwelle geändert wird.

[0033] Folglich tritt sogar dann kein Vibrieren auf, wenn die Umlaufzahl der Spindel erhöht wird. Dies macht es möglich, die Umlaufgeschwindigkeit der Spindel, das heißt des Werkzeugs oder des Werkstücks, ohne Verminderung der Bearbeitungsgenauigkeit und Erhöhung der Belastung auf das Werkzeug zu erhöhen.

[0034] In dem Bearbeitungsverfahren der Erfindung, das das oben angeführte Bearbeitungsgerät verwendet, werden das Werkzeug und das Werkstück relativ zueinander gedreht, wobei der Betrag der Bearbeitung des Werkzeugs pro Zeiteinheit auf der Basis von zumindest entweder einem vorbestimmten zu bearbeitenden Teilbereich oder einer Schnittgeschwindigkeit bestimmt wird. Auf der Basis des Bearbeitungsbetrags pro Zeiteinheit wird ein Verhältnis der Drehzahl des Werkzeugs zu seiner Umlaufzahl bestimmt.

[0035] Das Werkzeug oder das Werkstück wird so gedreht und zum Umlaufen gebracht, dass es diesem Verhältnis genügt, wobei das Werkstück bearbeitet wird.

[0036] Gemäß dem Verfahren der Erfindung, das das oben genannte Bearbeitungsgerät verwendet, ist es daher möglich, eine Drehzahl und eine Umlaufzahl einzustellen, die eine ausgezeichnete Bearbeitungsgenauigkeit haben, ohne die Lebensdauer des Werkzeugs zu verkürzen und die Belastung auf das Werkzeug zu erhöhen, und somit kann die Effizienz des Arbeitsvorgangs verbessert werden.

[0037] Bei dem Verfahren der Erfindung, das das oben genannte Bearbeitungsgerät verwendet, werden zudem das Werkzeug und das Werkstück miteinander in Kontakt gebracht, während sie gedreht und zum Umlaufen gebracht werden. Das Verhältnis der Drehzahl des Werkzeugs zu der Umlaufzahl des selben wird auf einen Wert unter 37 eingeetellt, und das Werkstück wird durch die an dem Werkzeug montierte Schneidklinge intermittierend geschnitten.

[0038] Gemäß dem Verfahren der Erfindung, das das oben genannte Bearbeitungsgerät verwendet, wird ein relativer Vorschub zwischen dem Werkzeug und dem Werkstück bei dem intermittierenden Schneidvorgang erhöht, bei dem das Werkzeug gedreht wird. Aus diesem Grund wird der Schneidbetrag oder die Arbeitseffizienz sogar dann nicht reduziert, falls die Schneidbreite pro Klinge reduziert ist. Mit anderen Worten können die Wärmeerzeugung, der Schneidwiderstand und die Stoßkraft verringert werden, wodurch die Lebenszeit des Werkzeugs verbessert wird, sofern die Schneidbreite pro Klinge ohne Verringerung der Arbeitseffizienz reduziert wird. Durch Erhöhen des Schneidbetrags pro Klinge innerhalb der Lebensdauer des Werkzeugs kann zudem die Arbeitseffizienz verbessert werden.

[0039] Bei einem anderen Verfahren der Erfindung, das das oben genannte Bearbeitungsgerät verwendet, wird das Werkstück mittels der Klinge geschnitten, während entweder das Werkzeug, das die Klinge hat, oder das Werkstück gedreht und zum Umlaufen gebracht wird. Bei den Schneidgeschwindigkeiten, bei denen das Werkstück durch die Klinge geschnitten wird, wird das Verhältnis der Schneidgeschwindigkeit, die durch das Umlaufen des Werkzeugs oder des Werkstücks bestimmt wird, auf nicht weniger als 7% eingestellt, um das Werkstück intermittierend zu schneiden.

[0040] Gemäß dem Verfahren der Erfindung, das das oben genannte Bearbeitungsgerät verwendet, kann der relative Vorschub zwischen dem Werkzeug und dem Werkstück so erhöht werden, dass die auf das Werkzeug aufgebrachte Belastung gemäß der Reduktion der Schnittbreite pro Klinge verringert wird, um die Lebensdauer des Werkzeugs zu verbessern, und um die Arbeitseffizienz durch Erhöhen des Schneidbetrags innerhalb der Lebensdauer des Werkzeugs zu verbessern.

[0041] Bei dem weiteren Bearbeitungsverfahren der Erfindung, das das oben genannte Bearbeitungsgerät verwendet, wird der Bearbeitungsvorgang durch Drehen und Umlaufenlassen des Werkzeugs oder des Werkstücks ausgeführt. Das Verhältnis der Drehzahl zu der Umlaufzahl wird auf der Basis einer Ober-

flächenrauheit der bearbeiteten Oberfläche geändert, die an dem Werkstück ausgebildet ist, um den vorgenannten Bearbeitungsvorgang auszuführen.

[0042] Gemäß dem Bearbeitungsverfahren der Erfindung, das das oben genannte Bearbeitungsgerät verwendet, können zahlreiche Bearbeitungsvorgänge wie beispielsweise ein Grobbearbeiten oder ein Feinbearbeiten mittels eines Gerätes oder Werkzeugs ausgeführt werden, was zur Reduzierung nicht nur bei den Installationskosten führt, sondern auch bei der Anzahl der Bearbeitungsschritte, um die Arbeitseffizienz auf ein höheres Niveau anzuheben.

[0043] Bei noch einem weiteren Verfahren der Erfindung, das das vorgenannte Bearbeitungsgerät anwendet, wird der Bearbeitungsvorgang durch relatives Bewegen des Werkzeugs oder des Werkstücks rückwärts und vorwärts in axialer Richtung ausgeführt, während das Werkzeug oder Werkstück gedreht und zum Umlaufen gebracht wird. Gleichzeitig wird das Verhältnis der Drehzahl zu der Umlaufzahl zwischen einem Arbeitsschritt für das Vorwärtsbewegen des Werkzeugs oder des Werkstücks in axialer Richtung und einem Arbeitsschritt für das Rückwärtsbewegen des Werkzeugs oder des Werkstücks in axialer Richtung erhöht.

[0044] Gemäß diesem Bearbeitungsverfahren, das das oben genannte Bearbeitungsgerät verwendet, kann daher das Grobbearbeiten, bei dem das Verhältnis der Drehzahl zu der Umlaufzahl verringert wird, und das Feinbearbeiten, bei dem das Verhältnis erhöht wird, durchgeführt werden, während sich das Werkzeug oder das Werkstück in axialer Richtung rückwärts oder vorwärts bewegt. Folglich kann die gesamte Arbeitszeit verkürzt werden, um die Produktivität zu erhöhen.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0045] Fig. 1 ist eine Schnittansicht, die ein Ausführungsbeispiel eines Bearbeitungsgeräts gemäß der Erfindung zeigt.

[0046] Fig. 2 ist ein Schaubild zur Erläuterung der relativen Positionen einer Spindel, einer Exzenterwelle, einer Umlaufwelle und einer Halterungswelle des Geräts in der radialen Richtung.

[0047] Fig. 3 ist ein mechanisches Diagramm zur Erläuterung eines grundlegenden Mechanismus, der in einem Differentialgetriebe verwendet wird.

[0048] Fig. 4 ist eine schematische Explosionszeichnung der Bauteile des Differentialgetriebes.

[0049] Fig. 5 ist ein Diagramm zur Erläuterung der Einstellung der Unwucht der einzelnen Wellen.

[0050] Fig. 6 ist ein Ablaufdiagramm zur Erläuterung eines Verfahrens zur Bestimmung eines Drehung/Umlauf-Verhältnisses.

[0051] Fig. 7 ist eine schematische Ansicht, die die geometrischen Orte einer Bewegung einer Klinge an einem zu schneidenden Abschnitt zeigt.

[0052] Fig. 8 ist ein Diagramm, das Änderungstendenzen in der Arbeitseffizienz und der Bearbeitungsgenauigkeit gemäß den Veränderungen in einem Drehung/Umlauf-Verhältnis, einem Werkzeugdurchmesser und der Anzahl der Klingen zeigt.

[0053] Fig. 9 ist eine schematische Ansicht, die eine relative Position zwischen einem Werkzeug in dem Zustand, bei dem eine Innenfläche einer Bohrung mittels dem Bearbeitungsgerät, das in Fig. 1 gezeigt ist, geschnitten wird und einer zu schneidenden Bohrung zeigt.

[0054] Fig. 10 ist ein Diagramm, das ein Ergebnis der Bestimmung der Beziehung zwischen dem Drehung/Umlauf-Verhältnis und der Bearbeitungsgenauigkeit zeigt.

[0055] Fig. 11 ist ein Diagramm, das den geometrischen Ort der Klingenkante auf der Basis eines Bearbeitungsverfahrens der Erfindung zeigt.

[0056] Fig. 12 ist ein Diagramm, das ein Ergebnis der Bestimmung der Beziehung zwischen dem Drehung/Umlauf-Verhältnis und der Bearbeitungsgenauigkeit zeigt.

[0057] Fig. 13 ist eine Vorderansicht, die schematisch ein anderes Ausführungsbeispiel zeigt, bei dem die Erfindung auf eine Drehbank angewandt wird.

[0058] Fig. 14 ist eine Draufsicht, die schematisch ein weiteres Ausführungsbeispiel zeigt, bei dem die Erfindung auf eine Drehbank angewandt wird.

BEVORZUGTE AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

[0059] Die Erfindung ist speziell unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben. Zuallererst ist ein Bearbeitungsgerät gemäß der Erfindung beschrieben, indem ein Schneidgerät als Beispiel eingeführt wird. In Fig. 1 ist ein Werkzeug **1** exemplarisch durch ein Fräswerkzeug dargestellt, das Schneidklingen **3** an dem äußeren Umfang eines vorderen Endabschnitts eines Schaftes **2** hat, und eine Spindel **4**, die das Werkzeug **1** an seinem vorderen Endabschnitt montiert hat, ist in einer Haltewelle **5** angeordnet. Diese Haltewelle **5** ist in einer zylindrischen Form ausgebildet und in das gesamte Gehäuse (z.B. einen Basisabschnitt) **7** eines Schneidgeräts integriert, wie es durch das Bezugszeichen **6** in Fig. 1 angedeutet ist. Daher wird die Haltewelle **5** bezüglich

eines (nicht gezeigten) zu schneidenden Werkstücks bewegt, dreht sich aber nicht um ihre Achse.

[0060] In dieser Haltewelle **5** wird eine Umlaufwelle **8** durch Lager **9** drehbar gehalten. In dieser Umlaufwelle **8** ist eine Bohrung ausgebildet, die sich in der axialen Richtung der Achse und mit einer Exzentrizität zu der Achse der Umlaufwelle **8** erstreckt, und in der eine Exzenterwelle **10** durch Lager **11** drehbar gehalten ist. Daher läuft diese Exzenterwelle **10** um die Achse der Umlaufwelle **8**, wenn sich diese Welle **8** um ihre eigene Achse dreht. Diese Exzenterwelle **10** ist vorgesehen, um den Umlaufradius der Spindel **4** zu ändern. In dieser Exzenterwelle **10** ist eine Durchgangsbohrung ausgebildet, die sich durch diese hindurch in der axialen Richtung der und mit einer Exzentrizität zu der Achse der Exzenterwelle **10** erstreckt, und in der die Spindel **4** durch Lager **12** drehbar gehalten ist.

[0061] Fig. 2 zeigt schematisch die relativen Positionen der vorgenannten einzelnen Wellen in den radialen Richtungen. Wie dies gezeigt ist, ist die Umlaufwelle **8** auf der selben Achse angeordnet wie die der Haltewelle **5**. In der Umlaufwelle **8** ist die Exzenterwelle **10** angeordnet, die eine Achse O_{10} an einer zu der Achse O_8 der Umlaufwelle **8** exzentrischen Position hat. Die Spindel **4** ist, da sie drehbar in der Exzenterwelle **10** angeordnet ist, exzentrisch zu der Achse O_{10} der Exzenterwelle **10** angeordnet.

[0062] Wenn die Exzenterwelle **10** gedreht wird, bewegt sich daher die Spindel **4**, da sie außerhalb der Achse O_{10} der Exzenterwelle **10** angebracht ist, auf einem Umfang C_{10}, der an der Achse O_{10} zentriert ist. Wenn die Exzentrizität der Exzenterwelle **10** zu der Umlaufwelle **8** und die Exzentrizität der Spindel **4** zu der Exzenterwelle **10** gleich sind, kann die Achse O_4 der Spindel **4** mit der Achse O_8 der Umlaufwelle **8** in Deckung sein, so dass die Exzentrizität der Spindel **4** zu der Umlaufwelle **8** auf null reduziert ist. Durch Drehen der Exzenterwelle **10** wird genauer gesagt die Exzentrizität der Spindel **4**, da sie in der Exzenterwelle **10** angeordnet ist, zu der Umlaufwelle **8** verändert. Wenn die Exzentrizität der Exzenterwelle **10** zu der Umlaufwelle **8** und die Exzentrizität der Spindel **4** zu der Exzenterwelle **10** gleich sind, wird die Exzentrizität der Spindel **4** zu der Umlaufwelle **8** innerhalb einer Grenze der zweifachen gleichen Exzentrizität zu null oder mehr geändert.

[0063] Das Werkzeug **1** dreht sich, da es an der Spindel **4** montiert ist, gemeinsam mit der Spindel **4**. Da diese Spindel **4** in der Umlaufwelle **8** gehalten wird, läuft andererseits die Spindel **4**, d.h. ein Werkzeug **1** um die Achse O_8 der Umlaufwelle **8**, wenn sich die Umlaufwelle **8** um ihre Achse dreht. In diesem Fall bestimmt der Umlaufradius der Spindel **4** die Exzentrizität der Spindel **4** zu der Umlaufwelle **8**, die durch Drehen der Exzenterwelle **10** eingestellt wird.

[0064] Diese Umlaufwelle **8** ist an ihrem rechtsseitigen Endabschnitt zu dem hinteren Endabschnitt des Gehäuses **7** verlängert, wie dies in Fig. 1 zu sehen ist, und wird durch das Gehäuse **7** mittels der Lager **13**, die an dem äußeren Umfang ihres hinteren Endabschnitts eingebaut sind, drehbar gestützt. In dem hinteren Endabschnitt der Umlaufwelle **8** ist ein konzentrisches Durchgangsloch ausgebildet, in dem eine Eingangswelle **14** drehbar durch Lager **15** gehalten wird. Diese Eingangswelle **14** ist vorgesehen, um die Spindel **4** zu drehen, und ist mit einem Spindelmotor M1 verbunden. Dieser Spindelmotor M1 ist an dem Gehäuse **7** fixiert, das als der Basisabschnitt fungiert. Andererseits hat die Eingangswelle **14** ihren linksseitigen Endabschnitt, der in der Umlaufwelle **8** zu einer Position nahe dem hinteren Endabschnitt der Spindel **4** verlängert ist.

[0065] Zudem sind eine Vielzahl von Rollen, die unterschiedliche Außendurchmesser besitzen, die mit der Außenfläche der Eingangswelle **14** in Kontakt sind, an dem Endabschnitt der Eingangswelle **14** angebracht. Diese Rollen **16** sind drehbar an Stützbolzen **17** montiert, die an der Umlaufwelle **8** so montiert sind, dass sie parallel zu der Achse der Eingangswelle **14** sind. Darüber hinaus ist ein Zylinderelement **18** eingebaut, um die Rollen **16** zu umschließen. Hier sind die Rollen **16** zwischen dem Zylinderelement **18** und der Eingangswelle **14** in Presspassung, um das Moment durch eine Reibungskraft zu übertragen, da ihre Kontaktdrücke groß sind.

[0066] Das Zylinderelement **18** umschießt den äußeren Umfang des hinteren Endabschnitts der Spindel **4**. Zwischen diesem äußeren Umfang der Spindel **4** und dem inneren Umfang des Zylinderelements **18** ist eine Vielzahl von Rollen **19** mit Presspassung eingebaut, die ebenso wie die vorgenannten Rollen **16** unterschiedliche Außendurchmesser besitzen. Die Rollen **19** sind durch Stützbolzen **20** drehbar gestützt, die mit einem ringförmigen Zahnrad **21**, das drehbar um den äußeren Umfang der Spindel **4** mittels eines Lagers angebracht ist, verbunden sind. Das ringförmige Zahnrad **21** ist des weiteren durch Bolzen mit dem hinteren Endabschnitt der vorgenannten Exzenterwelle **10** verbunden.

[0067] Daher wird das Moment der Eingangswelle **14** durch die Drehungen der Rollen **16**, die mit dem äußeren Umfang der Eingangswelle **14** in Kontakt sind, auf das Zylinderelement **18** übertragen, und das Moment des Zylinderelements **18** wird durch die Drehungen der Rollen **19**, die mit dem inneren Umfang des Zylinderelements **18** in Kontakt sind auf die Spindel **4** übertragen. Kurzum wird, sofern die Eingangswelle **14** durch den Motor M1 gedreht wird, deren Moment übermittelt, um die Spindel **4** zu drehen. Da sich die einzelnen Rollen **16** und **19** gegenseitig umlaufen, wird zudem die Exzentrizität der Spindel **4** zu der Eingangswelle **14** geändert, nämlich der Umlaufradi-

us der Spindel **4**.

[0068] In den Abschnitten der Umlaufwelle **8** an der Seite des äußeren Umfangs des ringförmigen Zahnrads **21** sind eine Vielzahl von ausgeschnittenen Abschnitten ausgebildet, die zu dem inneren und äußeren Umfang geöffnet sind und in denen Zwischenzahnräder **22** angeordnet sind und mit dem ringförmigen Zahnrad **21** im Eingriff sind. Die Dicke der umlaufenden Welle **8** an den einzelnen Abschnitten, in denen die Zwischenzahnräder **22** angeordnet sind, sind zueinender unterschiedlich ausgeführt, da die Achsen der Bohrungen, die sich in der axialen Richtung erstrecken, gegenüber der Achse der Umlaufwelle **8** exzentrisch sind. Daher sind die Außendurchmesser der einzelnen Zwischenzahnräder **22** gemäß der Dicke der Umlaufwelle **8** an den einzelnen Abschnitten unterschiedlich ausgeführt. Mit anderen Worten ist der Kreis, der die äußersten Umfänge der Zwischenzahnräder **22** verbindet, auf die Achse der Umlaufwelle **8** zentriert. Hier sind die einzelnen Zwischenzahnräder **22** drehbar durch die Stützbolzen **23** gestützt, die an der Umlaufwelle **8** montiert sind.

[0069] Auf der anderen Seite sind die einzelnen Zwischenzahnräder **22** mit einem Umlaufradiusänderungszahnrad **24** im Eingriff, das als Innenzahnrad agiert. Dieses Umlaufradiusänderungszahnrad **24** ist in dem Innenumfang des vorderen Endabschnitts einer Zylinderwelle **25** ausgebildet. Diese Zylinderwelle **25** ist koaxial mit der Eingangswelle **14** an dem Außenumfang der Umlaufwelle **8** eingebaut und wird von Lagern **26** drehbar gehalten.

[0070] An dem Außenumfang der Umlaufwelle **8** ist, da es an dem Außenumfang der Eingangswelle **14** angeordnet ist, ein Umlaufwellenzahnrad **27** fixiert. In Nachbarschaft zu diesem Umlaufwellenzahnrad **27** ist ein Zwischenwellenzahnrad **28** angebracht, das an der vorgenannten Zylinderwelle **25** fixiert ist. Das Umlaufwellenzahnrad **27** ist mit einem Eingangszahnrad **30** in einem Differentialmechanismus **29** im Eingriff und das Zwischenwellenzahnrad **28** ist mit einem Abgabezahnrad **31** des Differentialmechanismus **29** im Eingriff.

[0071] Nachstehend ist dieser Differentialmechanismus **29** beschrieben. Der Differentialmechanismus **29** ist dadurch aufgebaut, dass von dem Mechanismus Gebrauch gemacht wird, der den Aufbau hat, der in Fig. 3 gezeigt ist. In Fig. 3 ist genauer gesagt ein ringförmiges Element **100** an seinem Innenumfang derartig mit einem Keilprofil gestaltet, dass es Zähne **101** hat, und Außenzähne **102**, die eine geringere Zähnezahl als die Zähne **101** haben, sind an einem flexiblen Ring **103** ausgebildet, der drehbar in dem Innenumfang des ringförmigen Elements **100** eingerichtet ist. In dem Innenumfang des flexiblen Rings **103** ist durch ein Lager **105** ein elliptisches Drehelement **104** eingerichtet, das zwei Endabschnitte mit größerem Durchmesser hat, die den flexiblen Ring **103** zu einem Eingriff mit den Zähnen **101** des ringförmigen Elements **100** drücken. In dem in Fig. 3 gezeigten Mechanismus ist daher die Zähnezahl des flexiblen Rings **103** geringer als die des ringförmigen Elements **100**. Folglich vollführt, sogar wenn der flexible Ring **103** eine Drehung macht, das ringförmige Element **100** keine ganze Drehung, so dass es den Drehwinkel hat, der um die Differenz der Zähnezahl verringert ist.

[0072] Fig. 4 zeigt das Differentialgetriebe **29** schematisch in einer Explosionsansicht. Dieses Differentialgetriebe **29** hat: ein Paar kreisförmige Keilprofile **32** und **33**, die dem vorgenannten ringförmigen Element **100** entsprechen; ein flexible Keilprofil **34**, der dem vorgenannten flexiblen Ring **103** entspricht, um mit jenen kreisförmigen Keilprofilen **32** und **33** in Eingriff zu kommen; und einen Wellenerzeuger **35**, der in den Innenumfang des flexiblen Keilprofils **34** eingebaut ist und dem elliptischen Rotationselement **104** entspricht. Genauer gesagt hat das Differentialmechanismus **29**: die paarweisen zylindrischen Kreiskeilprofile **32** und **33**, die die gezahnten Innenumfänge haben; das flexible Keilprofil **34**, das aus einem flexiblen Zylinderelement hergestellt und an seinem Außenumfang gezahnt ist, um mit den gezahnten Zähnen der Kreiskeilprofile **32** und **33** einzugreifen; und den Wellenerzeuger **35**, der mit einer elliptischen Nocke ausgestattet ist, die eine Außenfläche hat, an der ein Kugellager sitzt, an deren Außenfläche das flexible Keilprofil **34** sitzt.

[0073] Ein Kreiskeilprofil **32** ist so festgelegt, dass er eine Zähnezahl (z.B. 200) hat, die der des flexiblen Zahnkranzes **34** gleich ist, und ist in den Innenumfang des Eingangszahnrads **30** eingebaut und in ihm fixiert. Andererseits ist das andere Keilprofil **33** so festgelegt, dass er eine geringfügig größere Zähnezahl (z.B. 202) als das flexible Keilprofil **34** hat, und ist in den Innenumfang des Ausgangszahnrads **31** eingebaut und in ihm fixiert. Zudem ist der Wellenerzeuger **35** an einer Einstellwelle **36** fixiert, die mit einem Radiusänderungsmotor M2 verbunden ist. Hierbei ist der Radiusänderungsmotor M2 an dem Gehäuse **7**, das dem Basisabschnitt entspricht, fixiert.

[0074] In diesem Differentialmechanismus **29** dreht sich daher, wenn das Eingangszahnrad **30** mit dem Wellenerzeuger **35** gedreht wird, oder die Einstellwelle **36** fixiert wird, das flexible Keilprofil **34** mit der selben Drehzahl wie das Eingangszahnrad **30**, da die Zähnezahl des Kreiskeilprofils **32**, das in dem Eingangszahnrad **30** fixiert ist, gleich der des flexiblen Keilprofils **34** ist. Im Gegensatz dazu ist die Zähnezahl des Kreiskeilprofils **33**, das in dem Ausgangszahnrad **31** fixiert ist, größer als die des flexiblen Keilprofils **34**, so dass das Ausgangszahnrad **31** so verlangsamt wird, dass es sich entsprechend der Differenz der Zähnezahl dreht. In dem vorstehend be-

schriebenen Ausführungsbeispiel besitzt das flexible Keilprofil **34** die Anzahl von „200" Zähnen, wohingegen das Kreiskeilprofil **33** die Anzahl von „202" Zähnen besitzt, so dass das Ausgangszahnrad **31** so verlangsamt ist, dass es sich in einem Verhältnis von 200/202 = 100/101 dreht.

[0075] Somit entsteht eine Differenz in der Drehzahl, aber sogar in solch einem Fall ist ein Verhältnis der Zähnezahl zwischen dem Eingangszahnrad **30** und dem Umlaufwellenzahnrad **27** und ein Verhältnis der Zähnezahl zwischen dem Ausgangszahnrad **31** und dem Zwischenwellenzahnrad **28** so festgelegt, dass sich der Umlaufradius der Spindel **4** nicht ändern kann. Wenn zum Beispiel das Eingangszahnrad **30** die Zähnezahl „100" besitzt, wohingegen das Umlaufwellenzahnrad **27** die Zähnezahl „200" besitzt, wird das Ausgangszahnrad so festgelegt, dass es die Zähnezahl „101" besitzt, wohingegen das Zwischenwellenzahnrad **27** so festgelegt wird, dass es die Zähnezahl „200" besitzt. In dem Fall dieses Aufbaus wird das Eingangszahnrad zum Beispiel mit 101 U/min mit fixierter Einstellwelle **36** oder fixiertem Wellenerzeuger **35** gedreht. Dann dreht sich das Ausgangszahnrad **31** mit 100 U/min, wohingegen sich das Umlaufwellenzahnrad **27** mit 101/2 U/min dreht. Zudem dreht sich das Ausgangszahnrad **31** mit 100 U/min, so dass sich das im Eingriff befindliche Zwischenwellenzahnrad **28** mit 100 × 101/200 = 101/2 U/min dreht. Kurzum drehen sich das Umlaufwellenzahnrad **27** und das Zwischenwellenzahnrad **28** mit der gleichen Geschwindigkeit.

[0076] Daher werden die Drehzahl der Umlaufwelle **8** und die Drehzahl der Zylinderwelle **25** gleich. Folglich drehen sich das Umlaufradiusänderungszahnrad **24**, das an der Zylinderwelle **25** ausgebildet ist, die Zwischenzahnräder **22**, die mit dem ersten Zahnrad **24** im Eingriff sind, und das ringförmige Zahnrad **21**, das mit den zweiten Zahnrädern **22** im Eingriff ist, gemeinsam. Kurzum sind die Phasen der einzelnen Rollen **16** und **19** in Drehrichtung konstant gehalten.

[0077] Wegen der Differenz in der Zähnezahl zwischen dem flexiblen Keilprofil **34** und dem Kreiskeilprofil **33** an der Seite des Ausgangszahnrads **31** wird andererseits das Kreiskeilprofil **33** mit einem der Differenz der Zähnezahl entsprechenden Verhältnis bezüglich der Drehung des flexiblen Keilprofils **34** verlangsamt. In dem vorgenannten Ausführungsbeispiel ist die Differenz der Zähnezahl „2", so dass das Kreiskeilprofil **33** mit einem Verhältnis von 2/200 = 1/100 bezüglich der Drehung des flexiblen Keilprofils **34** verlangsamt wird. Mit anderen Worten dreht sich, wenn das flexible Keilprofil **34** gemeinsam mit der Einstellwelle **36** mit 100 U/min gedreht wird, das Kreiskeilprofil mit minus (–) 1 U/min. Hier tritt keine Differenz in der Drehzahl zwischen dem Kreiskeilprofil **32** an der Seite des Eingangszahnrads **30** und dem flexiblen Keilprofil **34** auf, da sie eine gleiche Zähnezahl besitzen. Zuletzt entsteht, wenn das flexible Keilprofil **34** zusammen mit der Einstellwelle **36** gedreht wird, eine Differenz zwischen den Drehphasen des Eingangszahnrads **30** und des Ausgangszahnrads **31**. Mit anderen Worten ist es möglich, die relativen Drehbewegungen zwischen dem Eingangszahnrad **30** und dem Ausgangszahnrad **31** bei einer Drehgeschwindigkeit von 1/100 der Drehzahl der Einstellwelle **36** zu bewerkstelligen.

[0078] Diese relative Drehung zeigt sich als eine relative Drehung zwischen der Umlaufwelle **8** und dem ringförmigen Zahnrad **21**, nämlich als eine relative Umlaufgeschwindigkeit zwischen den einzelnen Rollen **16** und **19**. Zudem ändern diese relativen Umläufe zwischen den einzelnen Rollen **16** und **19** die Exzentrizität der Spindel **4** zu der Eingangswelle **14**, d.h. den Umlaufradius, so, dass das so weit beschriebene Gerät es einfach gestalten kann, den Umlaufradius fein einzustellen. Hier deutet die Bezugszeichen **37** in Fig. 1 ein Umlaufzahnrad an, das mit dem vorgenannten Eingangszahnrad **30** im Eingriff ist. Mit diesem Umlaufzahnrad **37** ist zudem ein Umlaufmotor M3 verbunden, der an dem Gehäuse **7** fixiert ist. Andererseits bilden der vorgenannte Umlaufradiusänderungsmotor M2, das Differentialgetriebe **29**, der Übermittlungsweg (Übertragungsstrang) des Moments von dem Differentialgetriebe **29** auf die Umlaufwelle **8** und der Übermittlungsweg des Moments von dem Differentialgetriebe **29** auf die Exzenterwelle **10** zusammen einen Umlaufradiusänderungsmechanismus.

[0079] In dem Schneidegerät, das in Fig. 1 gezeigt ist, werden die Umläufe der Spindel **4** zudem nicht durch die Kombination der linearen Bewegungen in den zweidimensionalen Richtungen erzielt, sondern durch die Drehungen der Umlaufwelle **8**, die die Spindel **4** umschließt, so dass die Spindel **4** mit hoher Geschwindigkeit gedreht und zum Umlaufen gebracht werden kann. In dem vorgenannten Beispiel kann andererseits die Exzentrizität der Spindel **4** zu der Umlaufwelle **8** so durch das Drehen der Exzenterwelle **10** geändert werden, dass der Umlaufradius der Spindel **4** geändert werden kann. Es ist daher möglich, die Schneidvorgänge von Kegellöchern, die Bohrvorgänge für eine Vielzahl von Arten verschiedener Innendurchmesser und die Aussparvorgänge einfach auszuführen.

[0080] Hierbei entspricht der Übermittlungsweg des Moments von dem Motor M1 für die Spindel **4** einem Übersetzungsmechanismus für das Drehen der Spindel der Erfindung, der Übermittlungsweg des Moments für das Umlaufen von dem Motor M3 auf die Umlaufwelle **8** entspricht einem Übersetzungsmechanismus für das Umlaufen der Erfindung, und ein Mechanismus, der eine Kombination dieser zwei Übertragungsmechanismen hat, entspricht einem Drehantriebsmechanismus der Erfindung.

[0081] Wenn der Schneidvorgang durch Montieren des Werkzeugs **1** an die Spindel **4** durchgeführt wird, werden die Spindel **4** und die Umlaufwelle **8** dazu gebracht, sich zu drehen und die Spindel **4** zum Umlaufen zu bringen, und die Exzenterwelle **10** wird gedreht, um den Umlaufradius der Spindel **4** zu ändern. Die vorgenannten drei Wellen sind so ausgewuchtet, wie dies im Folgenden beschrieben ist, dass sie die Vibrationen vermeiden, die auftreten können, wenn die einzelnen Wellen gedreht werden.

[0082] Fig. 5 ist ein Diagramm zur Erläuterung des Einstellens der Auswuchtung der einzelnen Wellen. Mit dem Werkzeug oder einem mit diesem gleichen Gewicht, das an dem vorderen Ende der Spindel **4** montiert ist, ist die Spindel **4** so ausgewuchtet, dass der Schwerpunkt in Deckung mit einer Mittelachse O_4 ist. Diese Einstellung der Auswuchtung kann durch ein Hinzufügen/Wegnehmen einer vorbestimmten Masse Wb durchgeführt werden, zum Beispiel durch Wegschneiden eines Abschnitts von dem Außenumfang der Spindel **4** oder durch Montieren eines Gewichtes für das Einstellen, wie beispielsweise einer Schraube. Das Einstellen der Auswuchtung wird nicht nur in der radialen Richtung gemacht, sondern auch in der axialen Richtung.

[0083] Die Exzenterwelle **10** ist so ausgewuchtet, dass der Schwerpunkt als Ganzes mit einer Mittelachse O_{10} in Deckung ist, wobei die so ausgewuchtete Spindel **4** an einer Position abseits von dieser Mittelachse O_{10} angeordnet ist. Dieses Einstellen der Auswuchtung kann, so wie in dem vorgehenden Beispiel, durch das Aufbringen/Wegnehmen eines vorbestimmten Gewichts Wb an einen oder von einem Abschnitt des Außenumfang der Exzenterwelle **10** durchgeführt werden.

[0084] Die Umlaufwelle **8** ist so ausgewuchtet, dass der Schwerpunkt durch das Aufbringen/Wegnehmen des vorbestimmten Gewichts Wb an einen oder von einem Abschnitt ihres Außenumfangs mit ihrer Mittelachse O_8 in Deckung ist, wobei die Exzenterwelle **10**, an der die Spindel **4** wie zuvor beschrieben befestigt und ausgewuchtet ist, an einer Position abseits der Mittelache O_8 angeordnet ist. Die Umlaufwelle **8** und die Exzenterwelle **10** sind auch in ihren axialen Richtungen ausgewuchtet.

[0085] Wenn die Umlaufwelle **8** gedreht wird, um die Spindel **4** zum Umlaufen zu bringen, ist der Schwerpunkt als Ganzes mit der Mittelachse O8 der Umlaufwelle **8** in Deckung, und daher treten sogar dann keine Vibrationen auf, wenn die Spindel **4** mit hoher Geschwindigkeit zum Umlaufen gebracht wird, womit zumindest die abseitige Belastung und die resultierenden Vibrationen verhindert oder unterdrückt werden. Solch ein Zustand wird sogar dann beibehalten, wenn der Umlaufradius der Spindel **4** geändert wird. Kurzum ist sowohl die Spindel **4** als auch die Exzenterwelle **10** so ausgewuchtet, dass der Drehmittelpunkt mit dem Schwerpunkt in Deckung ist. Die so ausgewuchtete Spindel **4** und die Exzenterwelle **10** sind durch die Umlaufwelle **8** so gehalten, dass der Schwerpunkt im Wesentlichen mit der Mittelachse O_8 in Deckung ist. Aus diesem Grund ändert sich sogar dann, wenn die Position der Spindel **4** in radiale Richtung durch Drehen der Exzenterwelle **10** geändert wird, die Position des Schwerpunkts als Ganzes nicht. Daher tritt sowohl bevor, als auch nachdem der Umlaufradius der Spindel **4** geändert wird, keine Veränderung in der Auswuchtung auf, so dass Vibrationen effektiv verhindert oder unterdrückt werden können, sogar wenn die Spindel **4** mit hoher Geschwindigkeit gedreht wird.

[0086] Nachstehend ist ein Verfahren zur Bearbeitung des Werkstücks mittels des Bearbeitungsgeräts der Erfindung beschrieben. In dem Schneidgerät gemäß der Erfindung werden, wie vorangehend beschrieben, der Spindelmotor M1 und der Umlaufmotor M3 aktiviert, die einzeln an dem Gehäuse **7** fixiert sind, um die Spindel **4**, das heißt das daran befestigte Werkzeug **1**, zu drehen und zum Umlaufen zu bringen. Dies macht es möglich, die Geschwindigkeit auf ein höheres Niveau anzuheben als bei den herkömmlichen Verfahren, und das Verhältnis K zwischen der Drehzahl des Werkzeugs und der Umlaufzahl desselben dementsprechend angemessen festzulegen. Dieses Verhältnis K beeinflusst die Lebensdauer des Werkzeugs und die Arbeitseffizienz stark und wird daher zuallererst bestimmt.

[0087] Fig. 6 ist ein Ablaufdiagramm, das ein Verfahren zur Bestimmung eines Drehung/Umlauf-Verhältnisses K zeigt, von dem zuerst ein Startwert festgelegt wird (in Schritt S1). Falls dieses Drehung/Umlauf-Verhältnis K „7" ist, vollführt das Werkzeug **1** einen Umlauf, während es sich einmal um seine eigene Achse dreht. Dies kann auf den Bohrvorgang angewandt werden. Der Konturbearbeitungsvorgang für das intermittierende Schneiden des Werkstücks wird ausgeführt, wenn das Drehung/Umlauf-Verhältnis K einen Wert von „1" überschreitet. Somit wird ein kleinerer Wert als dieser, der die Konturbearbeitungsarbeit sicher stellt, zum Beispiel eine ganze Zahl „2" als Startwert des Drehung/Umlauf-Verhältnisses K angenommen.

[0088] Andererseits wird ein zu verwendendes Werkzeug auf Basis des Materials oder der Form des zu schneidenden Werkstücks so bestimmt, dass die Anzahl der Klingen Z des Werkzeugs angezeigt wird (in Schritt S2) und ein Werkzeugdurchmesser D1 auch festgelegt wird (in Schritt S3).

[0089] Eine zu schneidende Dicke t wird auf der Basis dieses Drehung/Umlauf-Verhältnisses K, der Anzahl der Klingen Z des Werkzeugs und eines Durchmessers D0 einer aus dem Erzeugnis auszuarbeiten-

den Bohrung berechnet (in Schritt S4). Fig. 7 ist ein schematisches vergrößertes Diagramm eines Schnittabschnitts, wobei eine durch die Bezugszeichen C1 angezeigte Linie ein geometrischer Ort einer vorderen Klinge ist, und eine durch die Bezugszeichen C2 angezeigte Linie ein geometrischer Ort einer nachfolgenden Klinge ist. Diese geometrischen Orte der einzelnen Klingen werden durch Drehen und Umlaufen des Werkzeugs ausgebildet. In Schritt S4 wird eine Breite eines Abschnitts dort berechnet, wo ein Abstand zwischen den geometrischen Orten der einzelnen Klingen am größten ist. Diese Berechnung kann geometrisch auf der Basis der entsprechenden Daten, die das Werkzeug betreffen wie beispielsweise Z, D1 und dem Drehung/Umlauf-Verhältnis K erfolgen.

[0090] Andererseits ist ein maximaler Schnittteilbereich A angezeigt (in Schritt S5). Dieser maximale Schnittteilbereich A ist ein momentaner Maximalwert während des Schneidvorgangs und wird auf der Basis von derzeitigen Daten wie beispielsweise den Daten in dem Bohrvorgang für ein Werkzeug festgelegt. Insbesondere wird die Belastung, die auf jede Klinge aufgebracht wird, entsprechend einem Schnitteilbereich angehoben, und der maximale für ein Werkzeug zugelassene Schnittteilbereich wird als Daten für das Werkzeug voreingestellt. In Schritt S5 wird der maximale Schnitteilbereich A auf der Basis dieser vorhandenen Daten festgelegt.

[0091] Eine Schnittbreite fz (= A/t) wird auf der Basis der Schnittdicke t, die in Schritt S4 berechnet wird, und dem maximalen Schnittteilbereich A, der in Schritt S5 festgelegt wird, berechnet (in Schritt S6).

[0092] Zudem wird eine Schnittgeschwindigkeit V als eine Bedingung eines zu verwendenden Werkzeugs festgelegt (in Schritt S7). Die Schnittgeschwindigkeit V ist eine relative Geschwindigkeit der Schneidklinge zu dem Werkstück. Es ist wahrscheinliche, dass die Schneidklinge schnell verschleißt, je höher die Schnittgeschwindigkeit V wird, so dass sich die Lebensdauer des Werkzeugs verkürzt. Von den Schnittbedingungen wird daher die Lebensdauer des Werkzeugs bestimmt, und die Schnittgeschwindigkeit V wird auf der Basis dieser Werkzeuglebensdauer festgelegt.

[0093] Die Schnittgeschwindigkeit V ist eine Summe der Umfangsgeschwindigkeit der Schnittkante, die durch die Drehung des Werkzeugs verursacht wird, und der Umfangsgeschwindigkeit der Schnittkante, die durch das Umlaufen des Werkzeugs bewegt wird. Somit wird die Umlaufzahl N auf der Basis des Drehung/Umlauf-Verhältnisses K, das in Schritt S1 festgelegt wird, und der Schnittgeschwindigkeit V, die in Schritt S7 festgelegt wird, berechnet (in Schritt S8). Insbesondere wird die Umlaufzahl N durch die folgende Formel bestimmt, in der D0 ein Durchmesser einer zu schneidenden Bohrung ist, und D1 ein Durchmesser des Werkzeugs ist.

$$N = V \times 1000/[\pi \times \{D0 + D1\ (K - 1)\}]$$

[0094] Hier wird die Schnittgeschwindigkeit V durch die Summe einer Schnittgeschwindigkeit VA des umlaufenden Werkzeugs und einer Schnittgeschwindigkeit VB des drehenden Werkzeugs ausgedrückt, und die einzelnen Schnittgeschwindigkeiten werden durch die folgenden Formeln bestimmt.

$$VA = N \times D0 \times \pi$$

$$VB = N \times (K - 1) \times D1 \times \pi$$

[0095] Somit wird die Arbeitseffizienz Q berechnet (in Schritt S9). Diese Arbeitseffizienz Q ist ein Schnittbetrag pro Zeiteinheit und wird auf der Basis der Umlaufzahl N, des Bearbeitungsdurchmessers D0 und einem Rohmaterialdurchmesser D2 berechnet. Es wird (in Schritt S10) beurteilt, ob die somit berechnete Arbeitseffizienz Q den Anforderungen genügt. Diese Beurteilung wird zum Beispiel auf der Basis einer erforderlichen Durchlaufzeit des Schneidvorgangs gemacht.

[0096] Falls die Antwort des Schritts S10 negativ ist, wird (bei dem Schritt S11) beurteilt, ob die Schnittgeschwindigkeit V erhöht werden kann. Wenn eine Schnittgeschwindigkeit in Schritt S7 auf einen kleineren Wert als die maximal für das Werkzeug zulässige Schnittgeschwindigkeit festgelegt ist, ist die Antwort des Schritts S11 positiv und die Routine geht weiter zu Schritt S7, bei dem die Schnittgeschwindigkeit V innerhalb eines zulässigen Bereichs angehoben wird. Kurzum wird die Schnittbedingung verändert, um die Arbeitseffizienz Q zu erhöhen.

[0097] Falls die Antwort des Schritts S11 im Gegensatz dazu negativ ist, wird (in Schritt S12) beurteilt, ob der Schnittteilbereich A vergrößert werden kann. Falls der maximale Schnittteilbereich A in Schritt S5 auf einen kleineren Wert als den Maximalwert festgelegt ist, ist die Antwort des Schritts S12 positiv, und die Routine geht dann weiter zu Schritt S5, und der maximale Schnittteilbereich A hat einen großen Wert. Kurzum wird die Schnittbedingung verändert, um die Arbeitseffizienz Q zu erhöhen.

[0098] Falls die Antwort des Schritts S12 im Gegensatz dazu negativ ist, wird (in Schritt S13) beurteilt, ob das Werkzeug gegen eines mit einer großen Anzahl von Klingen Z getauscht werden kann. Kurzum wird diese Möglichkeit des Austauschens aufgrund dessen beurteilt, ob ein vorbereitetes Werkzeug vorhanden ist oder nicht. Falls der Austausch gegen ein Werkzeug mit einer hohen Anzahl von Klingen Z möglich ist, geht die Routine weiter zu Schritt S2 und eine neu ausgewählte Anzahl von Klingen wird ange-

zeigt. In diesem Fall wird die Anzahl der Klingen Z erhöht, so dass die Schnittbedingungen verändert werden, um die Arbeitseffizienz Q zu erhöhen.

[0099] Falls die Antwort des Schritts S13 negativ ist, da der Austausch des Werkzeugs nicht möglich ist, wird das Drehung/Umlauf-Verhältnis K verringert, kurzum wird die Umlaufzahl relativ erhöht, so dass die Einheit Schnittlänge pro Klinge erhöht wird, und die Arbeitseffizienz Q erhöht wird.

[0100] Hierbei werden bei den vorgenannten Schritten die Schneidbedingungen auf der Basis des Ergebnisses der Beurteilung der Arbeitseffizienz Q ausgewählt, aber das Drehung/Umlauf-Verhältnis K wird in Schritt S1 auf einen kleinen Wert festgelegt, so dass eine hohe Arbeitseffizienz erhalten wird. Daher gibt es generell keine Möglichkeit, dass die Antwort des Schritts S10 positiv ist, und die Änderung der Schnittbedingung, die zu Beginn aufgezeigt wurde, erforderlich ist.

[0101] Nachdem die Beurteilung der Arbeitseffizienz Q wie zuvor beschrieben vollzogen wurde, wird die Bearbeitungsgenauigkeit entschieden. Da die Schneidklingen eine Drehbewegung ausführen, wie dies in Fig. 7 gezeigt ist, wird die Innenfläche des Werkstücks weggeschnitten, um eine bogenförmige Aussparung auszubilden. Während ein nach dem Schnitt durch die Klinge zurückgebliebener Abschnitt durch die folgende Klinge geschnitten wird, bewegt sich das Werkzeug entsprechend der Umlaufgeschwindigkeit leicht in der Umfangsrichtung der bearbeiteten Bohrung. Daher verbleibt ein Grat, der einen dreieckigen Querschnitt hat, dessen Höhe durch die Bezugszeichen H in Fig. 7 angezeigt ist. Die Höhe H des Grats steht in Beziehung zu der Wegstrecke der Bewegung des Werkzeugs bis die folgende Klinge das Werkstück schneidet, das heißt, der Umlaufgeschwindigkeit des Werkzeugs, wie dies in Fig. 7 gezeigt ist, und die Höhe H wird größer, wenn die Umlaufzahl ansteigt. Falls das Ergebnis der Entscheidung über die Arbeitseffizienz Q positiv ist, geht die Routine daher weiter zu Schritt S15, und eine geometrische Höhe H des Grats oder des nach dem Schnitt verbleibenden Abschnitts wird unter Verwendung des Drehung/Umlauf-Verhältnisses K berechnet (in Schritt S15).

[0102] Diese Höhe H erscheint als Fehler in der Schnitttiefe oder Oberflächenrauheit und wird daher im Angesicht einer geforderten Genauigkeit beurteilt (in Schritt S16). Indem die Umlaufgeschwindigkeit des Werkzeugs erhöht wird, erhöht sich die Wegstrecke der Bewegung des Werkzeugs während der Drehung durch einen vorbestimmten Winkel und die Höhe H des nach dem Schnitt verbleibenden Grats wird entsprechend erhöht. Für den Fall, dass der Startwert des Drehung/Umlauf-Verhältnisses K auf einen kleinen Wert festgelegt ist, wird daher die Höhe H erhöht und die Bearbeitungsgenauigkeit vermindert. Für den Fall der Grobbearbeitung kann zum Beispiel die Antwort von Schritt S16 sogar dann positiv sein, falls das Drehung/Umlauf-Verhältnis K ein Startwert ist. In diesem Fall wird ein Wert des Drehung/Umlauf-Verhältnisses K angenommen, wobei die Schnittbedingungen wie beispielsweise die Drehzahl, die Umlaufzahl oder die Vorschubgeschwindigkeit des Werkzeugs festgelegt sind. Hier kann die Drehzahl durch Multiplizieren der Umlaufzahl N, die in Schritt S8 bestimmt wurde, mit dem Drehung/Umlauf-Verhältnis K bestimmt werden (N × K).

[0103] Im Gegensatz dazu wird, je näher sich der geometrische Ort der Klinge einer geraden Linie annähert, das heißt, je größer der Werkzeugdurchmesser D1 ist, die Höhe H desto kleiner, so dass die Bearbeitungsgenauigkeit verbessert wird. In dem Fall, dass die Antwort von Schritt S16 negativ ist, da die Höhe H des nach dem Schnitt verbliebenen vorstehenden Abschnitts so groß ist, dass die Bedingung nicht erfüllt ist, wird daher beurteilt (in Schritt S18), ob der Werkzeugdurchmesser D1 vergrößert werden kann, das heißt, ob das Werkzeug gegen ein Werkzeug mit einem größeren Durchmesser D1 ausgetauscht werden kann.

[0104] Falls die Antwort von Schritt S18 positiv ist, geht die Routine zu Schritt S3 und ein Durchmesser D1 eines neuen Werkzeugs wird angezeigt. Im Gegensatz dazu wird, falls die Antwort von Schritt S18 negativ ist, beurteilt (in Schritt S19), ob das derzeitige Werkzeug gegen ein Werkzeug ausgetauscht werden kann, das eine große Anzahl von Klingen Z hat. Wie dies oben beschrieben ist, wird, sofern die Wegstrecke der Bewegung des Werkzeugs in dem Intervall zwischen dem Zeitpunkt, bei dem die vordere Klinge in das Werkstück schneidet, und dem Zeitpunkt, bei dem die folgende Klinge in das Werkstück schneidet, anwächst, insbesondere die Höhe H des nach dem Schnitt verbliebenen vorstehenden Abschnitts größer. Daher wird, falls das Intervall zwischen der vorderen Klinge und der folgenden Klinge klein ist, weil die Anzahl der Klingen groß ist, die Höhe H des vorstehenden Abschnitts verringert. Für den Fall, dass der Durchmesser D1 des Werkzeugs nicht vergrößert werden kann, wird daher beurteilt, ob die Anzahl der Klingen Z vergrößert werden kann. Falls die Antwort auf diesen Schritt positiv ist, geht die Routine zu Schritt S2 und die Anzahl der Klingen Z eines neuen Werkzeugs wird angezeigt.

[0105] Im Gegensatz dazu wird, falls die Antwort auf Schritt S19 negativ ist, das Drehung/Umlauf-Verhältnis K erhöht (in Schritt S20). Kurzum wird die Wegstrecke der Bewegung des Werkzeugs in Richtung der Umfangsrichtung der zu bearbeitenden Bohrung durch relative Verringerung der Umlaufzahl verringert.

[0106] Für den Fall, dass der Durchmesser D1 des Werkzeugs erhöht wird, da in Schritt S19 eine positive Beurteilung gemacht wurde, oder für den Fall, dass das Drehung/Umlauf-Verhältnis K in Schritt S20 angehoben wurde, wird die Arbeitseffizienz Q entsprechend den Veränderungen in diesen Arbeitsbedingungen geändert. Daher werden die vorgenannten Routinen von Schritt S4 bis Schritt S10 ausgeführt, um die Berechnung und Beurteilung der Arbeitseffizienz Q erneut durchzuführen. Für den Fall, das die Beurteilung der Arbeitseffizienz Q positiv ausfällt, oder für den Fall, dass die Arbeitsbedingungen auf der Basis der Berechnung und Beurteilung der Arbeitseffizienz Q verändert werden, wird die Höhe H des nach dem Schnitt verbliebenen vorstehenden Abschnitts erneut berechnet (in Schritt S15), und die Beurteilung dieser Höhe H wird durchgeführt (in Schritt S16). Somit ist das Drehung/Umlauf-Verhältnis K bestimmt, das die Anforderungen der Arbeitseffizienz Q und der Bearbeitungsgenauigkeit erfüllt, und die Schnittbedingungen wie beispielsweise die Drehzahl, die Umlaufzahl oder die Vorschubgeschwindigkeit werden auf der Basis dieses Drehung/Umlauf-Verhältnis K festgelegt.

[0107] Fig. 8 ist ein Diagramm, das die Tendenzen für die Arbeitseffizienz Q und die Bearbeitungsgenauigkeit (die vorgenannte Höhe H) zeigt, sich entsprechend dem Drehung/Umlauf-Verhältnis K, dem Durchmesser D1 des Werkzeugs und der Anzahl der Klingen Z zu ändern. Kurzum wird, je größer das Drehung/Umlauf-Verhältnis K wird, die Arbeitseffizienz Q desto größer und die Bearbeitungsgenauigkeit desto niedriger. Auf der anderen Seite wird, je größer der Durchmesser D1 des Werkzeugs wird, die Bearbeitungsgenauigkeit desto größer.

[0108] Auf der Basis der somit festgelegten Schnittbedingungen werden die Geschwindigkeiten des Spindelmotors M1 und des Motors M3 für das Umlaufen gesteuert. Zudem wird der Schneidvorgang durch Bewegen der Spindel **4** zusammen mit der Haltewelle **5** in der axialen Richtung durchgeführt. Fig. 9 ist ein schematisches Diagramm, das den Zustand zeigt, in dem ein Bohrvorgang unter Verwendung des Werkzeugs **1**, das an dem hier zuvor beschriebenen Schneidgerät montiert ist, durchgeführt wird. Durch Aktivieren des Spindelmotors M1 wird das Werkzeug **1** um seine eigene Achse O_1 (d.h. die Achse O_4 der Spindel **4**) gedreht. Gleichzeitig (zur selben Zeit) wird durch Aktivieren des Motors M3 für das Umlaufen die Umlaufwelle **8** gedreht, und die Spindel **4** oder das Werkzeug **1** werden um die Achse O_8 der Umlaufwelle **8**, das heißt die Mittelachse O_{40} der zu bearbeitenden Bohrung **40**, zum Umlaufen gebracht.

[0109] Während der Spindelmotor M1 und der Motor M3 für das Umlaufen aktiviert sind, wird die Haltewelle **5** daher bewegt und in die durch das Werkzeug **1** zu bearbeitende Bohrung **40** eingeführt. Das Werkzeug **1** wird so gedreht und zum Umlaufen gebracht, dass das Werkstück **1** durch die Schneidklinge **3**, die an dem Außenumfang des vorderen Endes des Werkzeugs **1** montiert ist, mit einer Geschwindigkeit geschnitten wird, die durch Addieren der Umfangsgeschwindigkeit des Werkzeugs **1**, das gedreht wird, zu der Geschwindigkeit, mit der das zum Umlaufen gebrachte Werkzeug in Umfangsrichtung der zu bearbeitenden Bohrung **40** vorangeführt wird, bestimmt wird. In diesem Fall ist das Gerät, das in Fig. 1 gezeigt ist, nahezu frei von einer Beschränkung der Umlaufgeschwindigkeit des Werkzeugs **1**, so dass der Schneidvorgang durch Erhöhen der Umlaufgeschwindigkeit durchgeführt wird. Insbesondere wird das Drehung/Umlauf-Verhältnis K so festgelegt, dass es niedriger als „37" ist. Zudem wird, wenn die Umlaufzahl erhöht wird, die Schnittbreite verringert. Dies wird getan, da die Erhöhung der Umlaufzahl zu einer Erhöhung des Vorschubs des Werkzeugs führt, was in einer Vergrößerung der Länge der Späne und des Schneidbetrags resultiert.

[0110] Fig. 10 ist ein Diagramm, das das Ergebnis von Messungen von Beziehungen zwischen dem Drehung/Umlauf-Verhältnis K und der Arbeitseffizienz zeigt. Hier wird die Arbeitseffizienz durch Schneidvolumen (cm^3) pro Zeiteinheit (Min) ausgedrückt. Dieses Bestimmungsergebnis erhält man in dem Fall, in dem eine Bohrung, die einen Innendurchmesser von 55 mm hat, mit einer Schneidgeschwindigkeit von 200 m/min und mit der Schnittbreite von 0,6 mm geschnitten wird. Die verwendeten Werkzeuge sind eine Schaftfräse mit einem Außendurchmesser von 20 mm und eine Schaftfräse mit einem Außendurchmesser von 50 mm.

[0111] Da die Umlaufzahl groß ist, wie dies in Fig. 10 gezeigt ist, wird, je kleiner das Drehung/Umlauf-Verhältnis K wird, die Arbeitseffizienz desto größer. Wenn das Drehung/Umlauf-Verhältnis kleiner als „37" wird, wird die Tendenz der Arbeitseffizienz zu steigen bemerkenswert. Insbesondere ist die Arbeitseffizienz, die man in dem Fall erhält, in dem das Drehung/Umlauf-Verhältnis K kleiner als „20" ist, zweimal so groß oder größer als die Arbeitseffizienz, die man erhält, wenn das Drehung/Umlauf-Verhältnis K so auf um die „100" festgelegt wird. In Fig. 10 ist im Übrigen die Arbeitseffizienz für den Fall, dass das Drehung/Umlauf-Verhältnis K „1" ist, diejenige des Bohrvorgangs oder des kontinuierlichen Schneidvorgangs. Die Schnittgeschwindigkeit bei der Konturbearbeitungsarbeit ist die Summe der Geschwindigkeit, mit denen die Klinge gedreht wird, wenn das Werkzeug gedreht wird, und der Geschwindigkeit, mit der die Klinge einen Vorschub erfährt, wenn das Werkzeug zum Umlaufen gebracht wird. Allerdings legt das vorgenannte Schneidgerät keine Grenze für die Umlaufzahl fest, was in einem Ansteigen der Geschwindigkeit resultiert, mit der die Klinge einen Vorschub erfährt, wenn das Werkzeug zum Umlaufen

gebracht wird. Insbesondere ist in dieser Erfindung das Verhältnis zwischen der Geschwindigkeit, mit der die Klinge durch das Umlaufen des Werkzeugs einen Vorschub erfährt, und der Schnittgeschwindigkeit so festgelegt, dass es mehr als 7% ist. Diese Festlegung kann durch Änderung von entweder dem Umlaufradius oder der Umlaufzahl vorgenommen werden.

[0112] Bei der Konturbearbeitungsarbeit, bei der das Werkzeug gedreht und zum Umlaufen gebracht wird, erfährt das Werkzeug einen Vorschub um eine vorbestimmte Entfernung, während die Klingen eine Umdrehung machen, so dass die Kante schleifenförmige geometrische Orte entlang der Innenumfangsfläche der zu bearbeitenden Bohrung **40** bildet. Daher wird ein Teil des Werkstücks hergestellt, über das das Werkzeug einen Vorschub erfährt, während die Kante nicht auf das Werkstück angewandt wird. Kurzum verbleibt dieser Teil als ein nach dem Schnitt zurückbleibender Abschnitt, indem er in die Mitte der zu bearbeitenden Bohrung **40** hervorsteht. Die Höhe H des nach dem Schnitt zurückbleibenden Abschnitts kann als ein Referenzwert für die Bearbeitungsgenauigkeit verwendet werden. Fig. 12 ist ein Diagramm, das das Ergebnis von Messungen der Beziehungen von dem Drehung/Umlauf-Verhältnis K und der Bearbeitungsgenauigkeit H (μm) zeigt. Die Schneidbedingungen, unter denen diese Messung durchgeführt wurde, sind: ein Innendurchmesser der zu bearbeitenden Bohrung = 55 mm; die Schnittgeschwindigkeit = 200 m/min; und die Schnittbreite = 0,6 mm. Die verwendeten Werkzeuge sind: eine Schaftfräse mit dem Außendurchmesser von 20 mm und 8 Klingen; eine Schaftfräse mit einem Aussendruchmesser von 20 mm und 16 Klingen; eine Schaftfräse mit dem Außendurchmesser von 50 mm und 8 Klingen; und eine Schaftfräse mit dem Durchmesser von 50 mm und 16 Klingen.

[0113] Das Schneidgerät dieser Erfindung legt keine Grenzen für die Umlaufzahl fest, so dass das Drehung/Umlauf-Verhältnis K auf „1" verringert werden kann, bei dem der kontinuierliche Schneidvorgang durchgeführt wird, und die Bearbeitungsgenauigkeit kann entsprechend frei festgelegt werden. Kurzum wird in dem Schneidverfahren der Erfindung das Drehung/Umlauf-Verhältnis K auf der Basis der Bearbeitungsgenauigkeit, das heißt der Rauheit der zu bearbeitenden Oberfläche festgelegt. Somit können verschiedene Schneidvorgänge von grober Bearbeitung bis zu abschließender Bearbeitung ausgeführt werden, ohne Werkzeuge zu wechseln. Für den Fall, dass zum Beispiel die Innenfläche einer vorbestimmten Bohrung bearbeitet wird, wird auf dem Vorschubweg die Grobbearbeitung durch Reduzierung des Drehung/Umlauf-Verhältnisses K durchgeführt, und auf dem Rückzugsweg die Feinbearbeitung mit hoher Bearbeitungsgenauigkeit durch Erhöhen des Drehung/Umlauf-Verhältnisses K durchgeführt. Dies ermöglicht es, die Bearbeitung von Produkten in einer kurzen Zeitdauer fertig zu stellen und die Produktivität zu verbessern.

[0114] Hier werden das Beispiel des Bearbeitungsverfahrens der Erfindung und das Beispiel des herkömmlichen Schaftfräsens spezifiziert.

(Beispiel der Konturbearbeitungsarbeit der Erfindung)

[0115] Hier ist ein Durchmesser der Bohrung 65 mm, ein Durchmesser des Werkzeugs ist 25 mm und die Anzahl der Klingen ist 8. Die Schnittgeschwindigkeit ist auf 200 m/min festgelegt, bei der die Geschwindigkeit des gedrehten Werkzeugs 142,1 m/min (71,05 %) beträgt und die Geschwindigkeit des zum Umlaufen gebrachten Werkzeugs 57,9 m/min (28,95 %) beträgt. In diesem Fall ist das Drehung/Umlauf-Verhältnis K 1809,3/283,5 = 6,38 (< 37). Daher ist die Vorschubrate pro Klinge 4 mm und die Schnittbreite in axialer Richtung ist auf 1 mm festgelegt und auf 51 Klingen verteilt. Zudem ist die Schnitttiefe in radialer Richtung auf 2 mm festgelegt. Die für den Schneidvorgang benötigte Zeit ist 1,1763 Min. Die Anzahl der Werkstücke, die bearbeitet werden, bis die Verschleißrate der Flanke 0,3 mm wird, beträgt 200.

(Beispiel eines herkömmlichen Schaftfräsens)

[0116] Hier beträgt ein Durchmesser einer zu bearbeitenden Bohrung 65 mm, eine Bearbeitungstiefe ist 50 mm, ein Werkzeugdurchmesser ist 25 mm und die Anzahl der Klingen ist 8. Die Schnittgeschwindigkeit ist auf 200 m/min festgelegt, bei der die Geschwindigkeit des gedrehten Werkzeugs 196,99 m/min (98,5 %) beträgt und die Geschwindigkeit des zum Umlaufen gebrachten Werkzeugs 3,01 m/min (1,5 %) beträgt. In diesem Fall ist das Drehung/Umlauf-Verhältnis K 196,99/3,01 = 65,45 (> 37). Daher ist die Vorschubrate pro Klinge 0,15 mm und die Schnittbreite in axialer Richtung ist auf 4 mm festgelegt (Schnittbreite pro Klinge). Zudem ist die Schnitttiefe in radialer Richtung auf 2 mm festgelegt. Die für den Schneidvorgang benötigte Zeit beträgt 0,8481 Min. Die Anzahl der Werkstücke bis die Verschleißrate 0,3 mm wird, beträgt 20.

[0117] Gemäß dem Verfahren der Erfindung wird, wie dies durch diese Beispiele von Schneidvorgängen verdeutlicht ist, sogar falls die Schnittbreite der zu bearbeitende Bohrung in axialer Richtung klein ist, der Schneidvorgang in einer kurzen Zeitdauer fertiggestellt, und die Arbeitseffizienz kann mehr als jemals zuvor angehoben werden. Zudem kann die Lebensdauer des Werkzeugs über die des Standes der Technik hinaus verbessert werden. Diese Verbesserungen können auf der Basis der Tatsache, dass die Vorschubrate pro Klinge so groß ist, dass die Aufschlagfrequenz, die auf die Kante wirkt, oder die Auf-

schlagkraft reduziert wird, und der Tatsache, dass der Schneidvorgang der Erfindung im Unterschied zu dem Bohrvorgang ein intermittierender ist, so durchgeführt werden, dass die Kante luftgekühlt werden kann, wodurch der durch Anhaften oder Oxidation verursachte Verschleiß unterdrückt werden kann, und Schäden wie beispielsweise durch mechanischen Stoß verursachtes Absplittern ebenso unterdrückt werden können.

[0118] Die Erfindung ist vorstehend auf der Basis des speziellen Ausführungsbeispiels beschrieben. Allerdings sollte die Erfindung nicht auf das vorangehende spezielle Ausführungsbeispiel beschränkt werden, sondern die Exzenterwelle **10**, die in Fig. 1 gezeigt ist, kann durch eine fixierte Welle ersetzt werden, die zum Beispiel nicht in der Lage ist, sich zu drehen. Sogar falls das Gerät der Erfindung einen solchen Aufbau besitzt, kann der Schneidvorgang, bei dem die Vorschubrate groß ist, durch Erhöhen der Umlaufzahl durchgeführt werden. In dem Aufbau, der in Fig. 1 gezeigt ist, wird das Moment zudem durch eine Rolle oder ein Zahnrad übertragen. Die Übertragung des Moments kann immer durch eine Rolle oder ein Zahnrad übertragen werden, oder kann durch eine Windungsübertragungseinrichtung übertragen werden, die eine Kette und dergleichen verwendet. Das Schneidgerät des vorgenannten speziellen Ausführungsbeispiels ist so aufgebaut, dass es einen Drehmotor, einen Umlaufmotor und einen Umlaufradiusänderungsmotor verwendet. Aber jeder von diesen drei Motoren kann entfernt und durch einen Geschwindigkeitsänderungsmechanismus ersetzt werden, durch den ein Moment zwischen dem Drehmotor, dem Umlaufmotor und dem Umlaufradiusänderungsmotor aufgeteilt werden kann. Das Differentialgetriebe der Erfindung ist nicht auf den im vorhergehenden speziellen Ausführungsbeispiel beschriebenen Aufbau beschränkt, sondern kann so aufgebaut sein, dass durch das relative Drehen der drei Drehelemente zueinander Differentialvorgänge ausgeführt werden.

[0119] In dem vorangehenden speziellen Ausführungsbeispiel wird zum Beispiel ein Fall angenommen, in dem die Innenfläche der Bohrung geschnitten wird. Gemäß dem Verfahren der Erfindung können allerdings viele Schneidvorgänge durchgeführt werden; zum Beispiel Schneiden der Außenfläche einer Welle, Schneiden der Innenfläche einer verjüngten Bohrung oder Schneiden der Außenseite einer verjüngten Welle. Bei dem Schneiden einer Verjüngung in dieser Weise wird der Umlaufradius des Werkzeugs durch kontinuierliches Drehen der Exzenterwelle **10**, die in Fig. 1 gezeigt ist, während des Schneidvorgangs geändert, womit das einfache Ausführen des Schneidens der Verjüngung ermöglicht wird. Zudem kann das Verfahren der Erfindung auf das Schneiden von Außen- und Innengewinden oder von Bohrvorgängen angewendet werden. Bei einem dieser Schneidverfahren kann die Arbeitseffizienz durch größeres Erhöhen der Umlaufzahl und Anheben der Vorschubrate als beim Stand der Technik verbessert werden.

[0120] Zudem kann das Verfahren der Erfindung auf ein Bearbeitungsgerät angewandt werden, das das Werkstück anstatt dem Werkzeug dreht. Solch ein Gerät ist durch eine Drehbank, die in Fig. 13 und Fig. 14 gezeigt ist, beispielhaft dargestellt. Diese Drehbank ist mit einer Basis **200**, einem X-Achsen-Tisch **201** und einem Y-Achsen-Tisch **202** versehen. An dem Bett **200** sind der X-Achsen-Tisch **201** und der Y-Achsen-Tisch **202** in übereinanderliegenden Ebenen gestapelt angebracht. Kurzum ist der X-Achsen-Tisch **201** durch einen Linearführungsmechanismus **203**, der sich in die zu der Längsrichtung des Betts **200** senkrechten Richtung linear bewegt, an dem Bett **200** angebracht. Der Y-Achsen-Tisch **202** ist an dem X-Achsen-Tisch **201** durch einen Linearführungsmechanismus **204** angebaut, der sich in der Längsrichtung des Betts **200** bewegt. An dem Y-Achsen-Tisch **201** ist das in Fig. 1 gezeigte Gerät fixiert, bei dem die Achse der Spindel **4** parallel zu der Bewegungsrichtung des Y-Achsen-Tischs **202** ist. In dem in den Fig. 13 und Fig. 14 gezeigten Gerät ist am vorderen Ende der Spindel **4** ein Futter **206** angebaut, das ein Werkstück **205** hält.

[0121] An einem Endabschnitt des Betts **200** in der Längsrichtung ist zudem ein Ständer **207** angebaut, der sich in vertikaler Richtung erstreckt. An dem oberen Endabschnitt des Ständers **207** ist ein Werkzeugkopf **208** montiert, an dem ein Werkzeug **209** wie beispielsweise ein Bohrer angebaut ist und in Richtung des Futters **206** hervorsteht. An beiden Seiten des Ständers **200** ist in der Bewegungsrichtung des X-Achsen-Tischs **201** ein Beladeabschnitt **210** und ein Entladeabschnitt **211** für Werkstücke **205** angeordnet. Durch Bewegen des X-Achsen-Tischs **201** wird daher das an die Spindel **4** angebaute Futter **206** in entsprechende Positionen bewegt, die dem Beladeabschnitt **210**, dem Werkzeug **209** und dem Entladeabschnitt **211** zugewandt sind. Durch Bewegen des Y-Achsen-Tischs **202** wird das Futter **206** zudem rückwärts und vorwärts bezüglich entweder des Beladeabschnitts **210**, des Werkzeugs **209** oder des Entladeabschnitts **211** bewegt.

[0122] Gemäß dem Bearbeitungsgerät, das einen Aufbau besitzt, der in Fig. 13 und Fig. 14 gezeigt ist, wird das durch das Futter **206** gehaltene Werkstück **205** zu dem Werkzeug **206** bewegt, während die Spindel **4** gedreht und zum Umlaufen gebracht wird. Daher kann das Werkstück **205** durch das Werkzeug **209** gedreht werden. In diesem Fall kommt das Werkstück **205** in Berührung mit dem Werkzeug **209**, während es mit der Spindel dreht und umläuft, so dass das Werkstück **205** und das Werkzeug **209** intermittierend in Kontakt miteinander gebracht werden, wo-

bei der intermittierende Schneidvorgang durchgeführt wird. Daher werden die während dem Schneidvorgang erzeugten Späne in kurze Segmente zerteilt, wobei sie zusätzlich zu der Verbesserung in der Arbeitseffizienz und der Oberflächenrauheit, die in dem vorangehenden speziellen Ausführungsbeispiel erhalten wurden, wirksam ausgeblasen werden.

[0123] Zudem ist die Erfindung nicht auf das Gerät und das Verfahren für die Schneidvorgänge beschränkt, wie sie hier vorstehend beschrieben sind, sondern können auf ein Gerät und ein Verfahren für das Durchführen anderer Bearbeitungsvorgänge wie beispielsweise Schleifen angewandt werden. In der Erfindung kann der Schneidvorgang zudem durch zueinander erfolgendes relatives Bewegen des Werkzeugs und des Werkstücks durchgeführt werden. Daher wird, wenn entweder das Werkzeug oder das Werkstück gedreht und zum Umlaufen gebracht wird, das andere aus entweder dem Werkzeug oder dem Werkstück in die Richtung von mindestens einer von drei sich senkrecht schneidenden Achsen bewegt, um den Schneidvorgang durchzuführen.

[0124] Gemäß der Erfindung, wie sie hier vorstehend beschrieben ist, wird die Umlaufwelle der Spindel an einer versetzten Position um ihre eigene Achse gedreht, während die Spindel gedreht wird, wobei dem Werkzeug oder dem Werkstück, das an dem vorderen Ende der Spindel montiert ist, ermöglicht wird, sich zu drehen und zum Umlaufen gebracht zu werden. In diesem Fall ist die Umlaufgeschwindigkeit nicht besonders begrenzt, so dass das Verhältnis der Geschwindigkeit durch das Umlaufen zu der Schnittgeschwindigkeit, das heißt der relativen Vorschubgeschwindigkeit und dem Vorschubbetrag zwischen dem Werkzeug und dem Werkstück, erhöht werden kann. Gemäß der Erfindung kann daher die Arbeitseffizienz zum Beispiel durch Erhöhen der Vorschubrate bei der Konturbearbeitungsarbeit verbessert werden. Zur selben Zeit kann die Schnittbreite verkleinert werden, ohne die Arbeitseffizienz zu verringern, wobei die Belastung an den Kanten reduziert wird und die Werkzeuglebensdauer verbessert werden kann.

[0125] Gemäß der Erfindung können zudem sowohl der Motor für das Drehen der Spindel als auch der Motor für das Umlaufen der Spindel fixiert werden. Mit diesem Aufbau ist es möglich, die mit dem Umlaufen der Spindel gleichzeitig zu drehende Masse so zu verringern, dass die Umlaufgeschwindigkeit der Spindel auf ein hohes Niveau angehoben werden kann. Durch Verwenden einer Rolle an einem Mechanismus, der ein Moment für das Drehen der Spindel überträgt, oder an einem Mechanismus, der ein Moment für das Umlaufenlassen der Spindel überträgt, ist es zudem möglich, eine Drehung und ein Umlaufen auszuführen, bei dem weniger Oszillation oder Schwankung erzeugt wird, und womit die Bearbeitungsgenauigkeit verbessert werden kann.

[0126] Das Gerät der Erfindung ist mit der vorgenannten Exzenterwelle versehen, deren Drehung das Versatzverhältnis des Werkzeugs oder des Werkstücks zu der Umlaufwelle verändert. Daher kann der Vorschubbetrag oder Arbeitsradius des Werkzeugs oder des Werkstücks frei verändert werden. Durch Drehen der Exzenterwelle während des Schneidvorgangs können zudem das Schneiden von Verjüngungen und der Aussparvorgang durchgeführt werden.

[0127] Dank dieses Aufbaus können ein Mechanismus für das Drehen der Spindel, ein Mechanismus für das Umlaufenlassen der Spindel und ein Mechanismus für das Ändern des Umlaufradiusses unabhängig voneinander tätig sein, und ein schweres Element wie beispielsweise ein Motor wird nicht in einer Kreisbewegung gedreht. Dies ermöglicht es, die Spindel mit einer höheren Geschwindigkeit zu drehen und ein Verhältnis der Drehzahl der Spindel zu der Umlaufzahl der selben frei festzulegen, und des weiteren den Umlaufradius der Spindel während ihres Umlaufens frei zu ändern.

[0128] Durch diese Auswuchteinstellung ändert sich die Position des Schwerpunkts des gesamten Bearbeitungsgeräts sogar dann nicht wesentlich, wenn der Umlaufradius der Spindel durch Drehen der Exzenterwelle verändert wird. Folglich tritt sogar dann kein Vibrieren auf, wenn die Umlaufzahl der Spindel erhöht wird. Dies ermöglicht es, die Umlaufgeschwindigkeit der Spindel, das heißt des Werkzeugs oder des Werkstücks zu erhöhen, ohne eine Verminderung der Bearbeitungsgenauigkeit zu verursachen und die Belastung an dem Werkzeug zu erhöhen.

[0129] Gemäß dem Bearbeitungsverfahren der Erfindung ist das Verhältnis der Drehzahl des Werkzeugs oder des Werkstücks zu der Umlaufzahl auf der Basis der Bearbeitungsmenge pro Zeiteinheit, das heißt der Arbeitseffizienz, bestimmt. Daher ist es möglich, eine Drehzahl und eine Umlaufzahl festzulegen, die hervorragende Arbeitseffizienz besitzen, ohne die Werkzeuglebensdauer zu verkürzen und die Belastung auf das Werkzeug zu erhöhen.

[0130] Gemäß einem anderen Bearbeitungsverfahren der Erfindung wird zudem das Verhältnis der Drehzahl des Werkzeugs zu der Umlaufzahl des selben auf einen Wert unter 37 festgelegt, so dass ein relativer Vorschub zwischen dem Werkzeug und dem Werkstück bei dem intermittierenden Schneidvorgang erhöht wird. Folglich wird die Schnittmenge oder Arbeitseffizienz sogar dann nicht herabgesetzt, falls die Schnittbreite pro Klinge reduziert wird. Mit anderen Worten können, sofern die Schnittbreite pro Klinge ohne Verminderung der Arbeitseffizienz reduziert wird, Wärmeerzeugung, Schnittwiderstand und

Anprallkraft reduziert werden, womit die Werkzeuglebensdauer verbessert wird. Durch Erhöhen der Schnittmenge pro Klinge innerhalb der Werkzeuglebensdauer kann zudem die Arbeitseffizienz verbessert werden.

[0131] Gemäß einem anderen Bearbeitungsverfahren der Erfindung wird das Verhältnis der Schnittgeschwindigkeit, die durch das Umlaufen des Werkzeugs oder des Werkstücks bekannt ist, auf nicht weniger als 7 % festgelegt. Folglich wird die relative Geschwindigkeit zwischen dem Werkzeug und dem Werkstück erhöht, so dass die auf das Werkzeug aufgebrachte Belastung gemäß der Reduzierung der Schnittbreite pro Klinge verringert werden kann, um die Werkzeuglebensdauer zu verbessern und die Arbeitseffizienz durch Erhöhen der Schnittmenge innerhalb der Werkzeuglebensdauer zu verbessern.

[0132] In dem weiteren Bearbeitungsverfahren der Erfindung können daher verschiedene Bearbeitungsvorgänge wie beispielsweise Grobbearbeiten oder Feinbearbeiten mittels einem Gerät oder Werkzeug durchgeführt werden, was zu einer Reduktion nicht nur der Installationskosten sondern ebenso der Anzahl der Arbeitsschritte führt, was die Arbeitseffizienz auf ein höheres Niveau anhebt.

[0133] Gemäß noch einem weiteren Bearbeitungsverfahren der Erfindung variiert die Umlaufzahl, wenn der Bearbeitungsvorgang durch Rückwärts- oder Vorwärtsbewegen des Werkzeugs oder des Werkstücks in axialer Richtung durchgeführt wird, gemäß einer relativen Bewegungsrichtung in axialer Richtung des Werkzeugs oder des Werkstücks. Dies ermöglicht es, die Grobbearbeitung, bei der die Drehzahl verringert ist, und die Feinbearbeitung, bei der dieses Verhältnis erhöht ist, durchzuführen, während das Werkzeug oder das Werkstück in axialer Richtung rückwärts oder vorwärts bewegt wird. Folglich kann die Gesamtbearbeitungszeit verkürzt werden, um die Produktivität zu erhöhen.

INDUSTRIELLE ANWENDBARKEIT

[0134] Das Gerät und Verfahren der Erfindung kann auf verschiedene Bearbeitungsvorgänge angewandt werden, speziell Schneidvorgänge oder Schleifvorgänge. Zudem ermöglicht das richtige Festlegen des Verhältnisses der Drehzahl des Werkzeugs oder des Werkstücks zu der Umlaufzahl des Werkzeugs oder des Werkstücks das freie Verändern der Umstände, in denen sich das Werkzeug und das Werkstück berühren. Dies macht es daher möglich, Bearbeitungsvorgänge durchzuführen, deren Arbeitseffizienz oder Bearbeitungsgenauigkeit hervorragend sind, wobei eine hohe Verfügbarkeit solch eines Geräts und Verfahrens in der Bearbeitungsindustrie erzielt werden kann.

Patentansprüche

1. Bearbeitungsgerät zum Bearbeiten eines Werkstückes durch relative Drehung des Werkstückes und eines Werkzeugs (**1**), mit:
einer Umlaufwelle (**8**), die so gehalten wird, dass sie sich an einer Achse dreht, die parallel zu einer Mittelachse des Bearbeitungsgeräts ist,
einer Spindel (**4**), die sich an einer Achse dreht, die bezüglich der Mittelachse der Umlaufwelle (**8**) versetzt ist und parallel zu einer Mittelachse der Umlaufwelle (**8**) ist und ein Führungsende hat, an dem entweder das Werkstück oder das Werkzeug (**1**) montiert ist,
einer Eingangswelle (**14**), die an der Umlaufwelle (**8**) drehbar ist und an einem Endabschnitt angebracht ist, der entgegengesetzt zu einem Endabschnitt liegt, an dem das Werkstück oder das Werkzeug (**1**) montiert ist,
einem Drehantriebsmechanismus (M1, M3) für das Drehen der Umlaufwelle (**8**) und der Spindel (**4**) bei jeweils verschiedenen Geschwindigkeiten,
gekennzeichnet durch:
ein Zylinderelement (**18**), das so angebracht ist, dass es den äußeren Umfang jedes der Endabschnitte der Spindel (**4**) und der Eingangswelle (**14**), die nahe beieinander sind, umschließt,
eine Vielzahl von ersten Drehelementen (**16**), die verschiedene Außendurchmesser haben,
eine Vielzahl von zweiten Drehelementen (**19**), die verschiedene Außendurchmesser haben, wobei
die ersten Drehelemente (**16**) so gehalten werden, dass sie sich durch die Umlaufwelle (**8**) oder ein Element (**17**), das sich einstückig mit der Umlaufwelle (**8**) dreht, zwischen dem inneren Umfang des Zylinderelements (**18**) und dem äußeren Umfang der Eingangswelle (**14**) drehen und umlaufen, um ein Moment zwischen dem Zylinderelement (**18**) und der Eingangswelle (**14**) zu übertragen, und wobei
die zweiten Drehelemente (**19**) so angeordnet sind, dass sie sich zwischen dem inneren Umfang des Zylinderelements (**18**) und dem äußeren Umfang der Spindel (**4**) drehen und umlaufen, um ein Moment zwischen dem Zylinderelement (**18**) und der Spindel (**4**) zu übertragen.

2. Bearbeitungsgerät nach Anspruch 1, wobei der Rotationsantriebsmechanismus (M1, M3) folgendes hat:
einen Motor (M3) für das Umlaufen, der an einem Basisabschnitt fixiert ist;
einen Übersetzungsmechanismus (**27**, **30**, **37**) für das Umlaufen, um eine Kraft von dem Motor (M3) für das Umlaufen zu der Umlaufwelle (**8**) zu übertragen; und
einen Spindelmotor (M1), der an einem Basisabschnitt fixiert ist, um die Eingangswelle (**14**) zu drehen.

3. Bearbeitungsgerät nach Anspruch 2,

wobei die ersten Drehelemente (**16**) eine Vielzahl von ersten Rollen (**16**) haben, die zwischen dem Zylinderelement (**18**) und der Eingangswelle (**14**) so sitzen, dass sie sich drehen und umlaufen, und drehbar von der Umlaufwelle (**8**) gehalten sind, und
wobei die zweiten Drehelemente (**19**) eine Vielzahl von zweiten Rollen (**19**) haben, die zwischen der Spindel (**4**) und dem Zylinderelement (**18**) so sitzen, dass sie sich drehen und umlaufen.

4. Bearbeitungsgerät nach Anspruch 1,
wobei die Umlaufwelle (**8**) eine exzentrische Welle (**10**) hat, die sich an einer bezüglich der Mittelachse der Umlaufwelle (**8**) versetzten Achse dreht, und die Spindel (**4**) in einer bezüglich der Mittelachse der exzentrische Welle (**10**) versetzten Position drehbar gehalten ist.

5. Bearbeitungsgerät nach Anspruch 4, des weiteren mit:
einem Umlaufradiusänderungsmechanismus (**27**, **28**, **29**, **30**, **31**, M2), um die exzentrische Welle (**10**) einstückig mit der Umlaufwelle (**8**) und relativ bezüglich der Umlaufwelle (**8**) zu drehen.

6. Bearbeitungsgerät nach Anspruch 5,
wobei der Umlaufradiusänderungsmechanismus (**27**, **28**, **29**, **30**, **31**, M2) einen Differentialmechanismus hat, der einen differenzierenden Drehvorgang über drei Drehelemente durchführt, die sich relativ zueinander drehen, wobei ein erstes Drehelement der drei Drehelemente mit dem Übersetzungsmechanismus (**27**, **30**, **37**) für das Umlaufen verbunden ist, ein zweites Drehelement mit der exzentrischen Welle (**10**) verbunden ist, und ein drittes Drehelement mit einem Umlaufradiusänderungsmotor (M2) verbunden ist, der an dem Basisabschnitt fixiert ist.

7. Bearbeitungsgerät nach Anspruch 4,
wobei die Spindel (**4**) so ausgewuchtet ist, dass eine Mittelachse mit dem Schwerpunkt ausgerichtet ist; die exzentrische Welle (**10**), an der die Spindel (**4**) an einer versetzten Position montiert ist, so ausgewuchtet ist, dass eine Mittelachse mit dem Schwerpunkt ausgerichtet ist; und die Umlaufwelle (**8**), an der die exzentrische Welle (**10**) montiert ist, wobei sie die Spindel (**4**) drehbar hält, so ausgewuchtet ist, dass eine Mittelachse mit dem Schwerpunkt ausgerichtet ist.

8. Bearbeitungsverfahren, das das Bearbeitungsgerät nach Anspruch 1 nutzt, um ein Werkstück zu bearbeiten, indem entweder das Werkstück oder ein Werkzeug (**1**) gedreht wird und umläuft und gleichzeitig das Werkstück und das Werkzeug (**1**) miteinander in Kontakt stehen, mit den folgenden Schritten:
Bestimmen eines Bearbeitungsbetrags durch das Werkzeug (**1**) pro Zeiteinheit auf der Basis von zumindest entweder einer vorbestimmten maximalen Bearbeitungsquerschnittfläche oder einer vorbestimmten Bearbeitungsgeschwindigkeit,
Einstellen eines Verhältnisses einer Drehzahl von entweder dem Werkstück oder dem Werkzeug (**1**) zu einer Umlaufzahl von entweder dem Werkstück oder dem Werkzeug (**1**) auf der Basis des Bearbeitungsbetrags pro Zeiteinheit, und
Bearbeiten des Werkstücks durch derartiges Drehen und Umlaufenlassen des Werkstücks oder des Werkzeugs (**1**), dass das Verhältnis erfüllt ist.

9. Bearbeitungsverfahren, das das Bearbeitungsgerät nach Anspruch 1 nutzt, um ein Werkzeug (**1**), das eine Schneidklinge (**3**) hat, zu drehen und umlaufen zu lassen und ein Werkstück mittels des Werkzeugs (**1**) intermittierend zu schneiden,
wobei das Werkstück mittels der Schneidklinge (**3**), die an dem Werkzeug (**1**) montiert ist, indem ein Verhältnis von einer Drehzahl des Werkzeugs (**1**) zu einer Umlaufzahl des Werkzeugs (**1**) auf einen Wert niedriger als 37 eingestellt wird, intermittierend geschnitten wird.

10. Bearbeitungsverfahren, welches das Bearbeitungsgerät nach Anspruch 1 nutzt, um ein Werkzeug (**1**), das eine Schneidklinge (**3**) hat, zu drehen und umlaufen zu lassen und ein Werkstück mittels des Werkzeugs (**1**) intermittierend zu schneiden,
wobei das Werkstück geschnitten wird, indem ein Verhältnis einer Schnittgeschwindigkeit in Abhängigkeit von einem Umlaufen des Werkzeugs (**1**), das in der Schnittgeschwindigkeit der Schneidklinge (**3**) bezüglich des Werkstücks enthalten ist, die dann erhalten wird, wenn das Werkzeug (**1**) gedreht wird und umläuft, auf nicht weniger als 7% eingestellt wird.

11. Bearbeitungsverfahren, das das Bearbeitungsgerät nach Anspruch 1 nutzt, um ein Werkstück zu bearbeiten, indem entweder das Werkstück oder ein Werkzeug (**1**) gedreht wird und umläuft und gleichzeitig das Werkstück und das Werkzeug (**1**) miteinander in Kontakt stehen,
wobei das Werkstück geschnitten wird durch das Ändern eines Verhältnisses einer Drehzahl von dem Werkstück oder dem Werkzeug (**1**) zu einer Umlaufzahl von eben dem Werkstück oder dem Werkzeug (**1**) auf der Basis einer Rauheit, die an der bearbeiteten Oberfläche des Werkstücks erzeugt wird.

12. Bearbeitungsverfahren, das das Bearbeitungsgerät nach Anspruch 1 nutzt, um ein Werkstück zu bearbeiten, indem entweder das Werkstück oder ein Werkzeug (**1**) gedreht wird und umläuft und gleichzeitig das Werkstück und das Werkzeug (**1**) miteinander in Kontakt stehen, und eben das Werkstück oder das Werkzeug (**1**) rückwärts und vorwärts in einer Richtung bewegt wird, die parallel zu der Mittelachse einer Drehung ist,
wobei das Verhältnis einer Drehzahl zu einer Umlaufzahl von eben dem Werkstück oder dem Werkzeug

(**1**) zwischen einem Bearbeitungsschritt des Vorwärtsbewegens von eben dem Werkstück oder dem Werkzeug (**1**) in eine Richtung parallel zu der Drehmittelachse, und einem Bearbeitungsschritt des Rückwärtsbewegens des einen aus Werkstück und Werkzeug (**1**) in eine Richtung parallel zu der Drehmittelachse, unterschiedlich gestaltet wird.

Es folgen 12 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

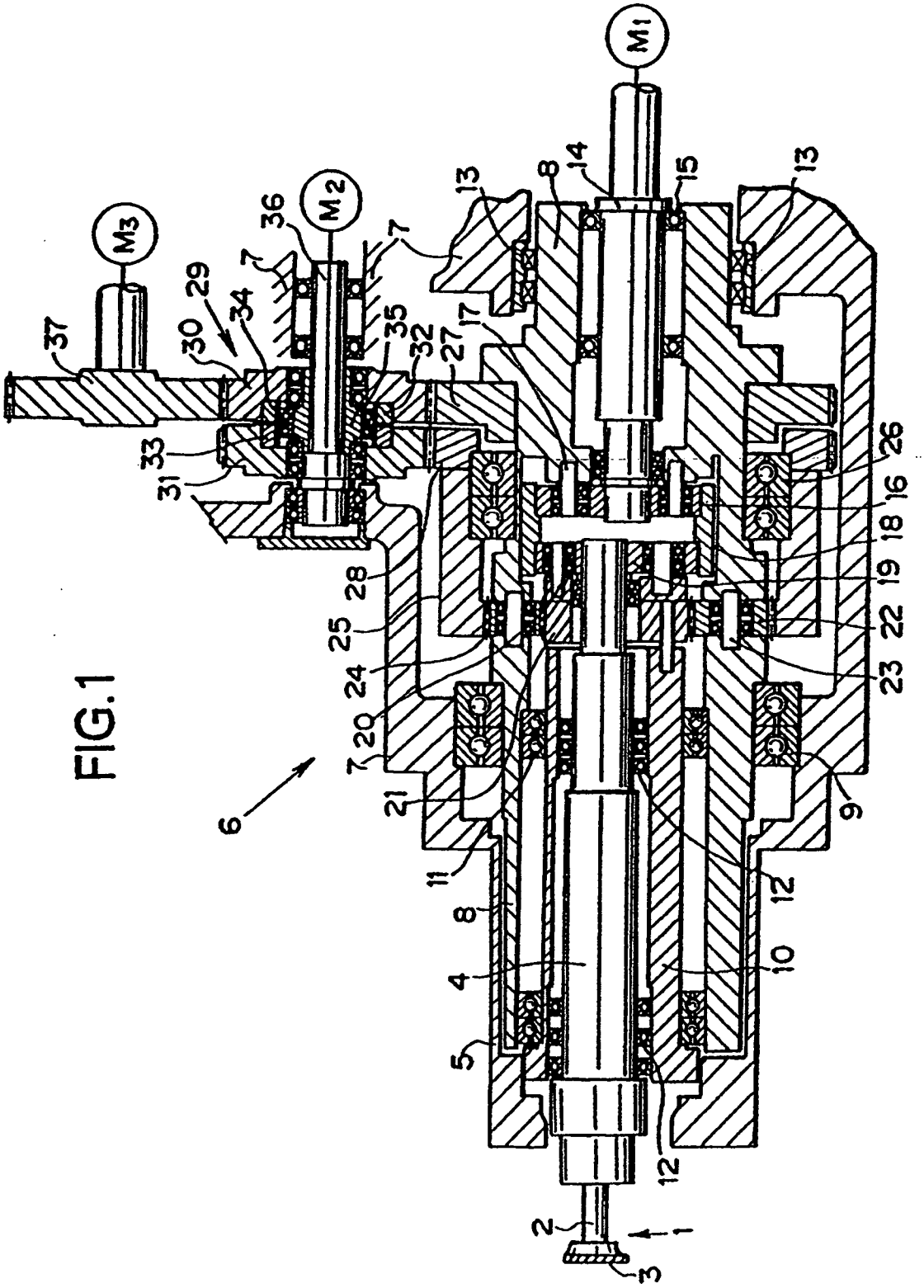


FIG.1

FIG.2

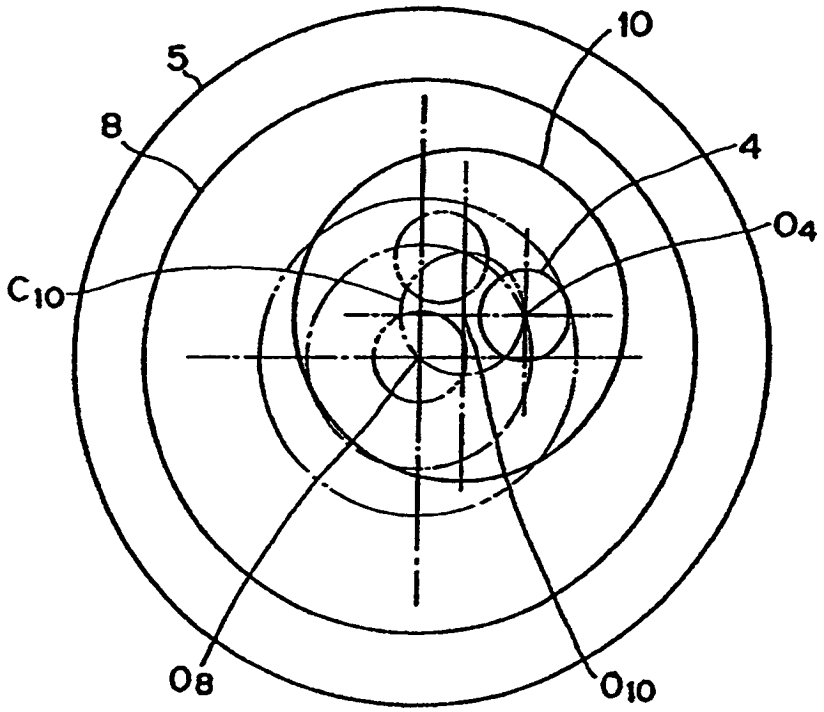
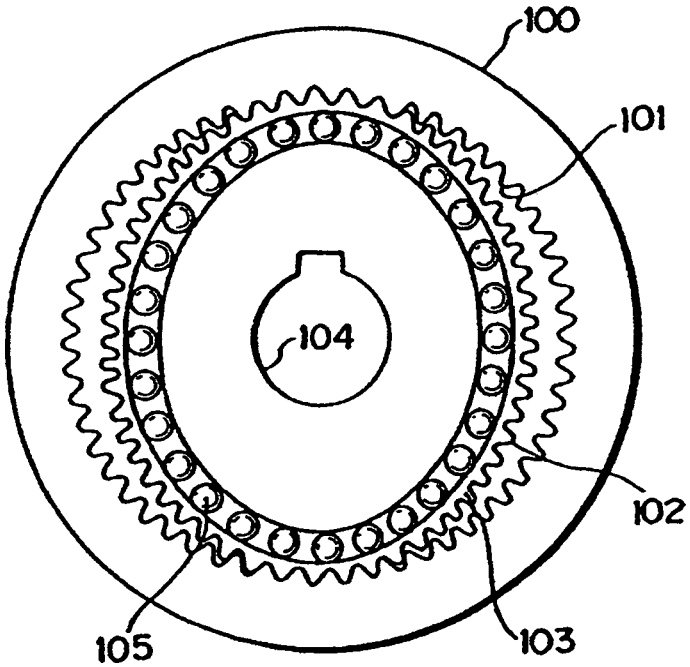


FIG.3



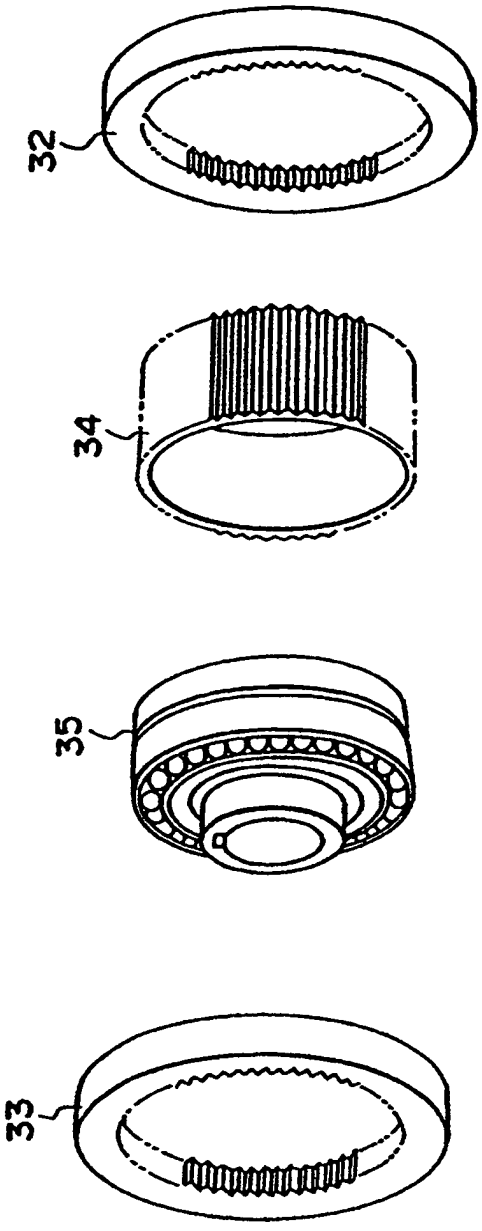


FIG.4

FIG.5

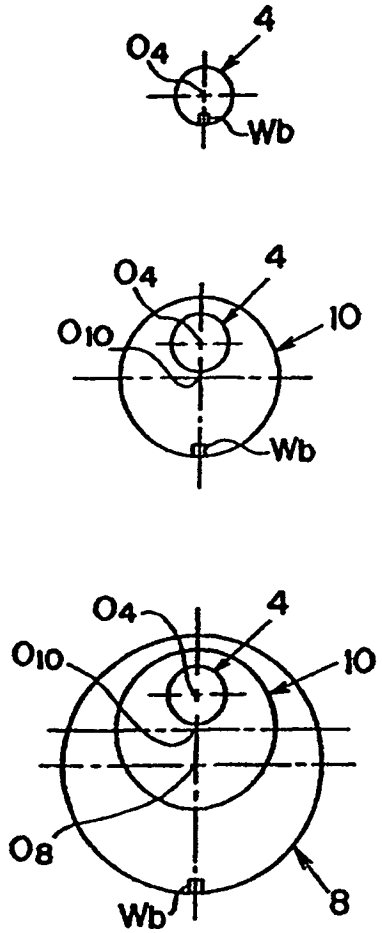


FIG.6

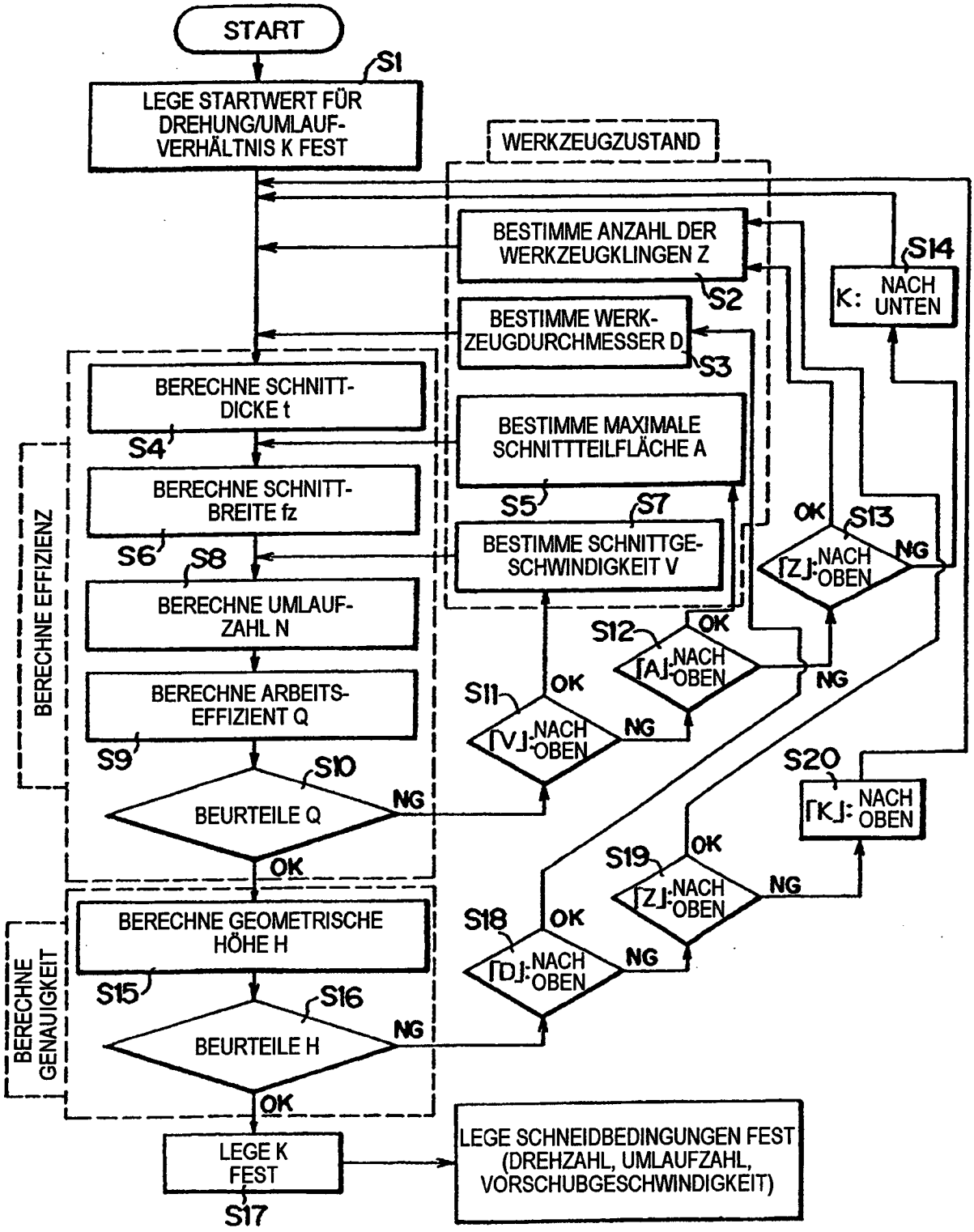

START
S1
LEGE STARTWERT FÜR DREHUNG/UMLAUF-VERHÄLTNIS K FEST
WERKZEUGZUSTAND
BESTIMME ANZAHL DER WERKZEUGKLINGEN Z
S2
BESTIMME WERK-ZEUGDURCHMESSER D
S3
BESTIMME MAXIMALE SCHNITTTEILFLÄCHE A
S5
BESTIMME SCHNITTGE-SCHWINDIGKEIT V
S7
BERECHNE SCHNITT-DICKE t
S4
BERECHNE SCHNITT-BREITE fz
S6
BERECHNE UMLAUF-ZAHL N
S8
BERECHNE ARBEITS-EFFIZIENT Q
S9
BEURTEILE Q
S10
NG
OK
BERECHNE EFFIZIENZ
BERECHNE GEOMETRISCHE HÖHE H
S15
BEURTEILE H
S16
NG
OK
BERECHNE GENAUIGKEIT
LEGE K FEST
S17
LEGE SCHNEIDBEDINGUNGEN FEST (DREHZAHL, UMLAUFZAHL, VORSCHUBGESCHWINDIGKEIT)
K: NACH UNTEN
S14
[Z]: NACH OBEN
S13
[A]: NACH OBEN
S12
[V]: NACH OBEN
S11
[K]: NACH OBEN
S20
[Z]: NACH OBEN
S19
[D]: NACH OBEN
S18
OK
NG

FIG.7

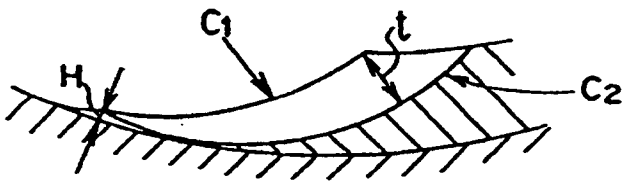


FIG.8

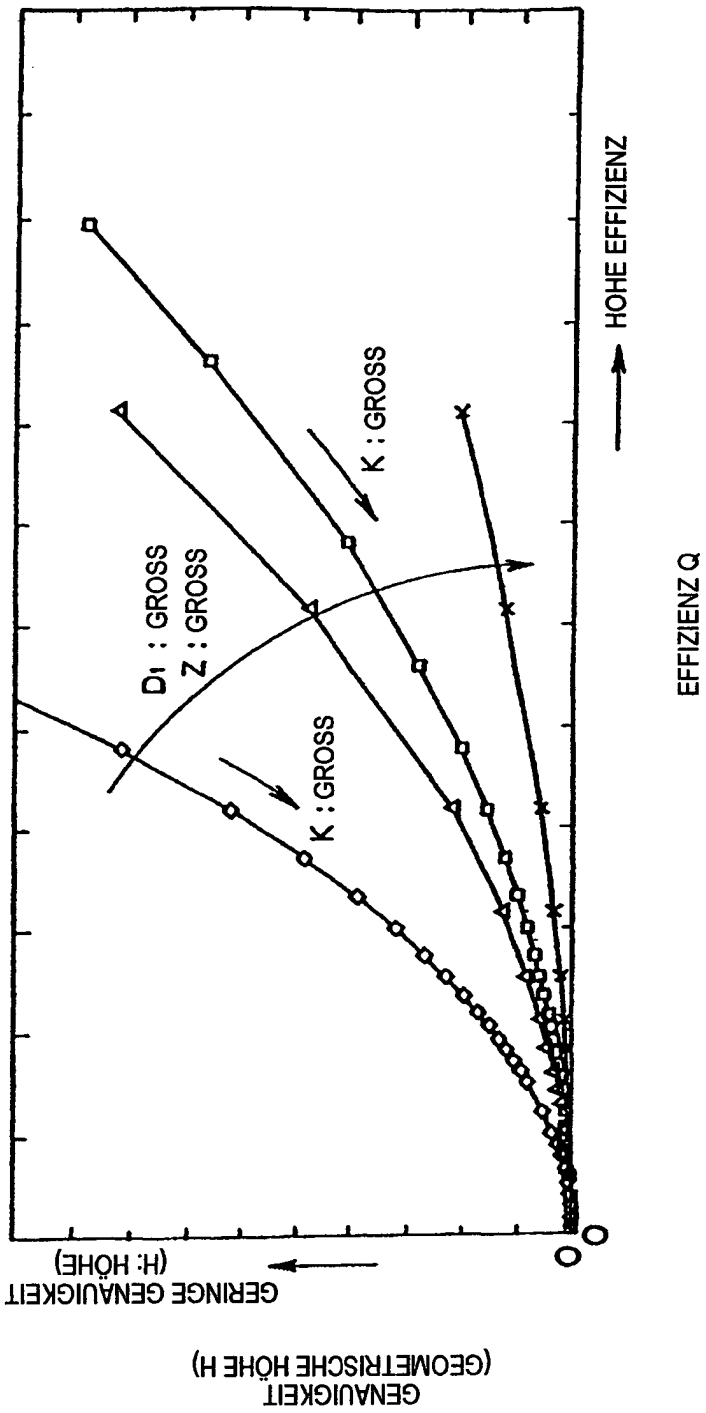

K : GROSS
D1 : GROSS
Z : GROSS
K : GROSS
HOHE EFFIZIENZ
EFFIZIENZ Q
GERINGE GENAUIGKEIT
(H: HÖHE)
GENAUIGKEIT
(GEOMETRISCHE HÖHE H)

FIG.9

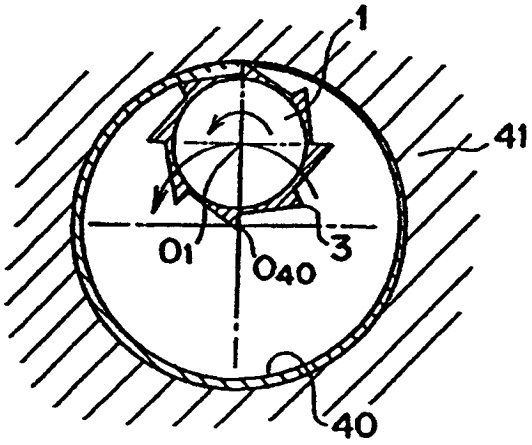


FIG.11

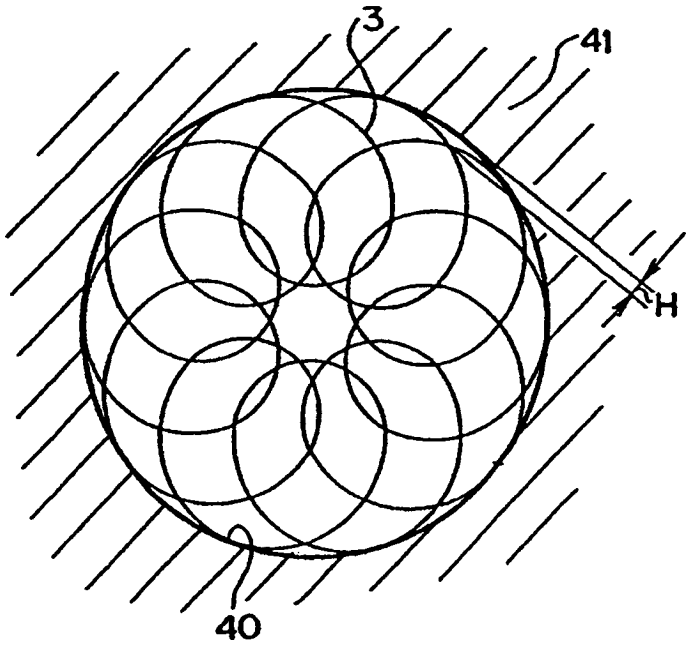


FIG.10

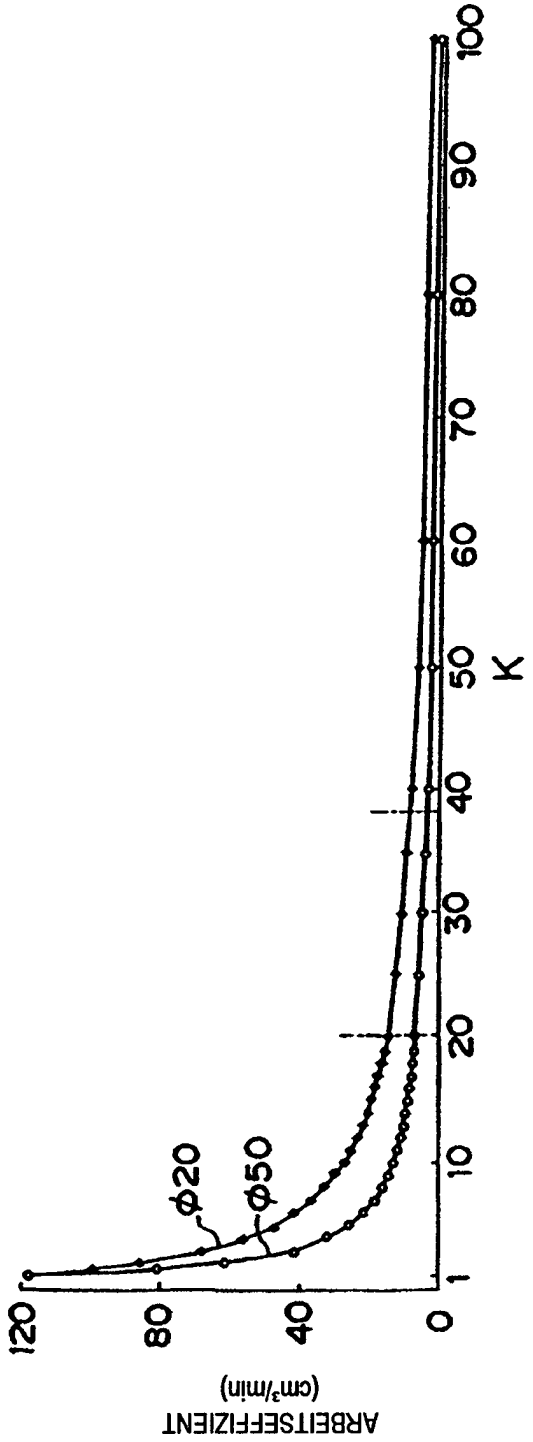

ARBEITSEFFIZIENT
(cm³/min)
120
80
40
0
1
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
K
φ20
φ50

FIG.12

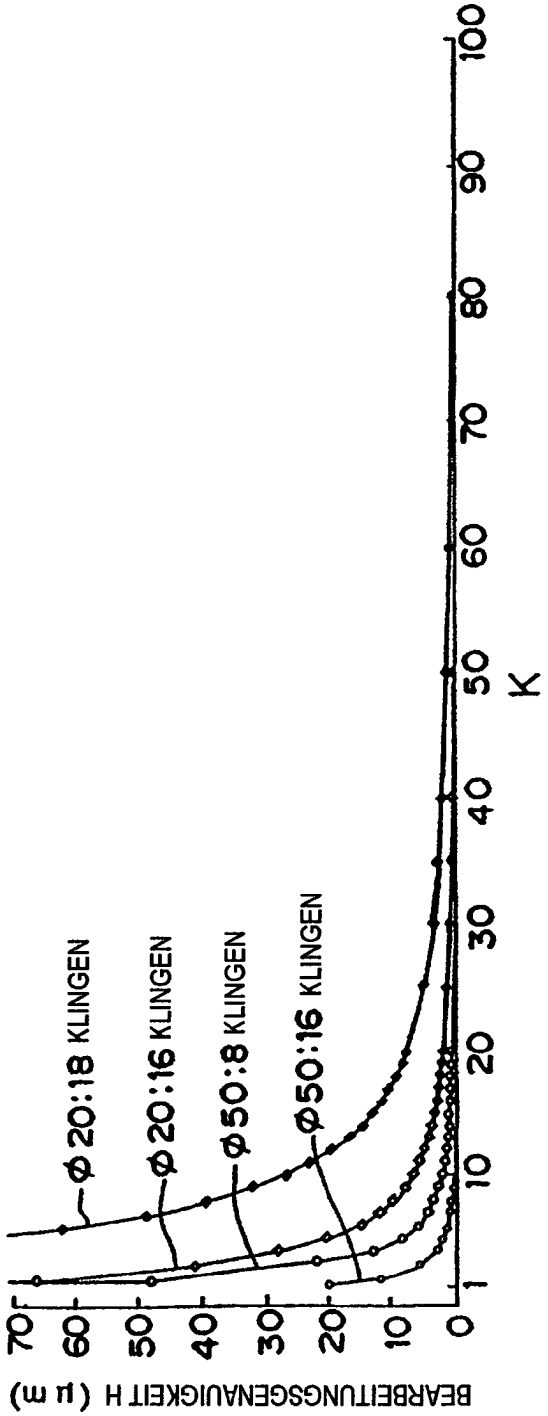

BEARBEITUNGSGENAUIGKEIT H (μm)
70
60
50
40
30
20
10
0
1
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
K
φ 20:18 KLINGEN
φ 20:16 KLINGEN
φ50:8 KLINGEN
φ50:16 KLINGEN

FIG.13

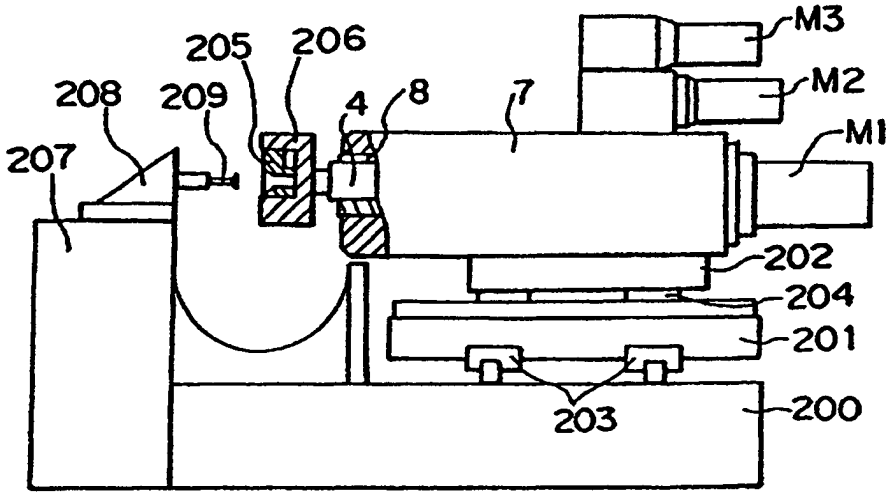
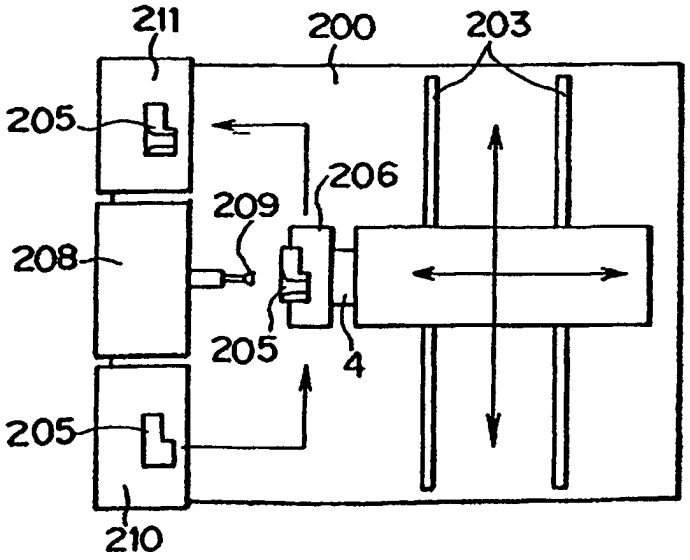

205
206
208
209
4
8
7
M3
M2
M1
207
202
204
201
203
200

FIG.14


211
200
203
205
206
209
208
205
4
205
210