



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 126 893.9**
(22) Anmeldetag: **29.10.2018**
(43) Offenlegungstag: **02.05.2019**

(51) Int Cl.: **B23Q 15/14 (2006.01)**
B23Q 5/28 (2006.01)
B23Q 11/00 (2006.01)
G05B 19/402 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
2017-211896 01.11.2017 JP

(74) Vertreter:
**Keil & Schaafhausen Patent- und Rechtsanwälte
PartGmbH, 60323 Frankfurt, DE**

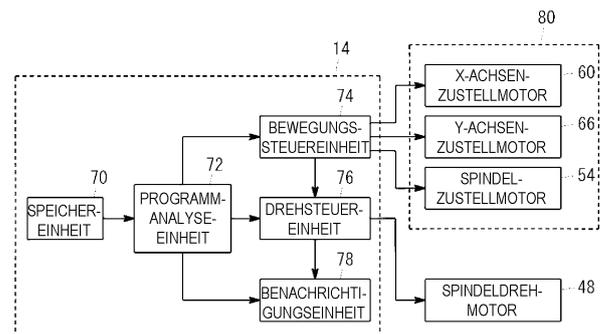
(71) Anmelder:
**FANUC CORPORATION, Oshino-mura,
Yamanashi, JP**

(72) Erfinder:
Fujii, Takaaki, Oshino-mura, Yamanashi, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Werkzeugmaschine und plastisches Umformverfahren**

(57) Zusammenfassung: Eine Werkzeugmaschine (10) mit einer Werkzeugspindel (20) und einem Arbeitstisch (28) zum Tragen eines Werkstücks (W) zur Durchführung eines plastischen Umformvorgangs an einem Werkstück (W) mit einem Werkzeug (22), das an der Werkzeugspindel (20) angebracht ist. Das teilweise gekrümmte Werkzeug (22) hat einen Bewegungsmechanismus (80), um die Werkzeugspindel (20) relativ zu dem Werkstück (W) zu bewegen, einen Spindeldrehmotor (48), um die Werkzeugspindel (20) relativ zu dem Werkstück (W) zu drehen, eine Bewegungssteuereinheit (74), um den Bewegungsmechanismus (80) so zu steuern, dass er das Werkzeug (22) entlang des Werkstücks (W) bewegt, wobei er einen gekrümmten Abschnitt auf die zu bearbeitende Oberfläche presst, und eine Drehsteuereinheit (76), um den Spindeldrehmotor (48) so zu steuern, dass er eine Normale (NV) des gekrümmten Abschnitts an einer Referenzposition (SP), die als Referenz verwendet wird, zu der Oberfläche des Werkstücks (W) orientiert.



Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Werkzeugmaschine und ein plastisches Umformverfahren zur Bearbeitung eines Werkstücks mit einem Werkzeug.

Beschreibung des Standes der Technik

[0002] Beispiele für das Hochglanzpolieren von Werkstückoberflächen umfassen das Bearbeiten eines Werkstücks mit einem Werkzeug, das eine Bearbeitungsschneide aufweist, das Schleifen eines Werkstücks mit einer Polier- oder Schwabbelnscheibe, einer Schleifscheibe oder dergleichen, das plastische Umformen eines Werkstücks mit einem Werkzeug, das einen gekrümmten Abschnitt hat, und dergleichen. Für dieses Hochglanzpolieren ist ein plastisches Umformen zur plastischen Deformierung eines Werkstücks in der japanischen Patentoffenlegungsschrift Nr. 2003-039315 beschrieben. Um es kurz zu sagen, wird das Werkstück plastisch derart deformiert, dass ein Pressabschnitt, der an einem Endabschnitt eines Dorns ausgebildet ist, auf eine zu bearbeitende Oberfläche des Werkstücks gepresst und bewegt wird, während er rotiert wird.

Zusammenfassung der Erfindung

[0003] Bei der in der japanischen Patentoffenlegungsschrift Nr. 2003-039315 beschriebenen Technologie tritt aber ein Fall auf, dass durch die Rotation des auf die zu bearbeitende Oberfläche des Werkstücks gepressten Dorns generierte Vibrationen auf die bearbeitete Oberfläche übertragen werden. In diesem Fall besteht die Befürchtung, dass die zu bearbeitende Oberfläche des Werkstücks rau wird.

[0004] Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Werkzeugmaschine und ein plastisches Umformverfahren vorzuschlagen, mit denen eine Oberfläche eines Werkstücks gleichmäßig bearbeitet werden kann.

[0005] Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Werkzeugmaschine vorgeschlagen mit einer Werkzeugspindel und einem Arbeitstisch zum Halten eines Werkstücks zur Durchführung einer plastischen Umformung an dem Werkstück mit einem an der Werkzeugspindel angebrachten Werkzeug durch Relativbewegung der Werkzeugspindel gegenüber dem Werkzeugschicht. Das Werkzeug hat einen gekrümmten Abschnitt an wenigstens einem Teil seiner einen Seitenfläche und die Werkzeugmaschine umfasst einen Bewegungsmechanismus, der dazu ausgestaltet ist, die Werk-

zeugspindel relativ zu dem Werkstück zu bewegen, einen Motor, der dazu ausgestaltet ist, die Werkzeugspindel relativ zu dem Werkstück zu drehen, eine Bewegungssteereinheit, die dazu ausgestaltet ist, den Bewegungsmechanismus so zu steuern, dass das Werkzeug entlang einer Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstücks bewegt wird, wobei der gekrümmte Abschnitt auf die zu bearbeitende Oberfläche gepresst wird, und eine Drehsteereinheit, die dazu ausgestaltet ist, den Motor so zu steuern, dass eine Normale (senkrechte Linie) des gekrümmten Abschnitts an einer als Referenz verwendeten Referenzposition zu der zu bearbeitenden Oberfläche des Werkstücks orientiert ist.

[0006] Gemäß einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung führt ein plastisches Umformverfahren eine plastische Verformung an einem Werkstück mit einem an einer Werkzeugspindel angebrachten Werkzeug durch, indem es eine Werkzeugmaschine verwendet, welche die Werkzeugspindel und einen Arbeitstisch zum Tragen des Werkstücks aufweist und die Werkzeugspindel und den Arbeitstisch relativ zueinander bewegt. Das Werkzeug hat an wenigstens einem Teil seiner Seitenfläche einen gekrümmten Abschnitt, und die Werkzeugmaschine weist einen Bewegungsmechanismus auf, der dazu ausgestaltet ist, die Werkzeugspindel relativ zu dem Werkstück zu bewegen, und einen Motor, der dazu ausgestaltet ist, die Werkzeugspindel relativ zu dem Werkstück zu drehen. Das Verfahren umfasst einen Bewegungssteuerschritt zur Steuerung des Bewegungsmechanismus derart, dass das Werkzeug entlang der zu bearbeitenden Oberfläche des Werkstücks bewegt wird, wobei der gekrümmte Abschnitt auf die zu bearbeitende Oberfläche gepresst wird, und einen Drehsteuerschritt zur Steuerung des Motors so, dass eine Normale des gekrümmten Abschnitts an einer als Referenz verwendeten Referenzposition zu der zu bearbeitenden Oberfläche des Werkstücks orientiert ist.

[0007] Gemäß der vorliegenden Erfindung ist es möglich, die Werkzeugmaschine und das plastische Umformverfahren vorzuschlagen, mit welchen die Oberfläche des Werkstücks gleichmäßig bearbeitet werden kann.

[0008] Die obigen und weitere Aufgaben, Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung ergeben sich noch deutlicher aus der nachfolgenden Beschreibung in Verbindung mit den beigegeführten Zeichnungen, in denen eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beispielhaft dargestellt ist.

Figurenliste

Fig. 1 ist eine schematische perspektivische Ansicht einer Werkzeugmaschine gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,

Fig. 2 ist ein Diagramm, das Antriebssysteme einer Werkzeugspindel und eines Arbeitstisches der in **Fig. 1** gezeigten Werkzeugmaschine erläutert,

Fig. 3 ist ein Blockdiagramm einer in **Fig. 1** gezeigten Steuerung,

Fig. 4 ist ein Diagramm, das einen Zustand eines Werkzeugs zeigt, das sich unter Steuerung durch die in **Fig. 3** gezeigte Steuerung entlang einer zu bearbeitenden Oberfläche eines Werkstücks bewegt,

Fig. 5 ist ein Diagramm, das einen Einstellzustand (1) einer durch die in **Fig. 3** gezeigte Steuerung eingestellten Referenzposition darstellt,

Fig. 6 ist ein Diagramm, das einen Einstellzustand (2) der durch die in **Fig. 3** gezeigte Steuerung eingestellten Referenzposition darstellt,

Fig. 7 ist ein Fließbild, das den Ablauf eines plastischen Umformprozesses zeigt, der auf der Basis eines Analyseergebnisses eines plastischen Umformprogramms in der in **Fig. 3** gezeigten Steuerung ausgeführt wird,

Fig. 8 ist ein Fließbild, das den Ablauf einer Referenzpositionseinstellverarbeitung zeigt, die auf der Basis des Analyseergebnisses des plastischen Umformprogramms in der in **Fig. 3** gezeigten Steuerung ausgeführt wird, und

Fig. 9 ist ein Fließbild, das den Ablauf eines Benachrichtigungsprozesses zeigt, der auf der Basis des Analyseergebnisses des plastischen Umformprogramms in der in **Fig. 3** gezeigten Steuerung ausgeführt wird.

Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen

[0009] Nachfolgend werden eine Werkzeugmaschine und ein plastisches Umformverfahren gemäß der vorliegenden Erfindung im Detail auf der Basis eines bevorzugten Ausführungsbeispiels mit Bezug auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben.

[Aufbau der Werkzeugmaschine]

[0010] **Fig. 1** ist eine schematische perspektivische Ansicht einer Werkzeugmaschine **10**. Die Werkzeugmaschine **10** ist ausgestattet mit einem Werkzeugmaschinenkörper **12** und einer Steuerung **14** zur Steuerung des Werkzeugmaschinenkörpers **12**. Der Werkzeugmaschinenkörper **12** und die Steuerung **14**

sind in der Lage, über Leitungen oder drahtlos miteinander zu kommunizieren.

[Aufbau des Werkzeugmaschinenkörpers]

[0011] Der Werkzeugmaschinenkörper **12** weist eine Werkzeugspindel **20** auf und führt ein plastisches Umformen durch, um eine bearbeitete Oberfläche eines Werkstücks **W** plastisch zu deformieren, indem ein an der Werkzeugspindel **20** angebrachtes Werkzeug **22** auf die zu bearbeitende Oberfläche gepresst wird. Zusätzlich zu der Werkzeugspindel **20** umfasst der Werkzeugmaschinenkörper **12** einen Spindelkopf **24**, eine Säule **26**, einen Arbeitstisch **28** und Tischantriebseinheiten **30**.

[0012] Das zur plastischen Umformung verwendete Werkzeug **22** hat eine zylindrische Form und ist über einen Werkzeughalter **32**, der von der Werkzeugspindel **20** lösbar ist, an der Werkzeugspindel anbringbar. Der Werkzeughalter **32** kann einen Antivibrationsmechanismus, beispielweise eine hydraulische Klemme oder dergleichen, aufweisen. Das Werkzeug **22**, das über den Werkzeughalter **32** an der Werkzeugspindel **20** angebracht ist, weist eine Längsachse auf, die sich entlang der Werkzeugspindel **20** erstreckt. Die Werkzeugspindel **20** und das Werkzeug **22** werden zusammen gedreht. Der Werkzeugmaschinenkörper **12** ist als ein Bearbeitungszentrum ausgestaltet, bei dem das Werkzeug **22**, das an der Werkzeugspindel **20** angebracht ist, durch einen automatischen Werkzeugwechsler **34** austauschbar ist. Der automatische Werkzeugwechsler **34** weist ein Werkzeugmagazin **36** auf, das in der Lage ist, eine Mehrzahl von Werkzeugen **22**, die jeweils durch den Werkzeughalter **32** gehalten werden, zu speichern (zu halten).

[0013] Der Werkzeughalter **32** trägt das Werkstück **W**, das befestigbar ist, (vgl. **Fig. 2**) und ist unterhalb der Werkzeugspindel **20** angeordnet. Eine Mehrzahl von T-förmigen Schlitzen **38**, die sich gerade in einer X-Richtung erstrecken, ist an einer oberen Fläche des Arbeitstisches **28** mit festgelegten Abständen in einer Y-Richtung ausgebildet. Das Werkstück **W** wird über Fixiervorrichtungen (nicht dargestellt) an einer gewünschten Position auf dem Tisch **28** fixiert. Die Fixiervorrichtungen nutzen die T-förmigen Schlitze **38**, um das Werkstück **W** auf der oberen Fläche des Arbeitstisches **28** zu befestigen. Hierbei sind die X-Richtung und die Y-Richtung senkrecht zueinander.

[0014] Die Tischantriebseinheiten **30** sind Mechanismen zur Bewegung des Arbeitstisches **28** in der X-Richtung und der Y-Richtung und werden auf einer Basis **40** getragen. Die Tischantriebseinheiten **30** weisen eine Y-Achsen-Gleiteinheit **42**, einen Sattel **44** und eine X-Achsen-Gleiteinheit **46** auf. Der Sattel **44** wird auf der Basis **40** durch die Y-Achsen-Gleiteinheit **42** getragen, die in der Y-Richtung bewegbar ist.

Der Arbeitstisch **28** wird durch die X-Achsen-Gleiteinheit **46** so getragen, dass er relativ zu dem Sattel **44** in der X-Richtung bewegbar ist.

[0015] Fig. 2 ist ein Diagramm, das Antriebssysteme für die Werkzeugspindel **20** und den Arbeitstisch **28** erläutert. Der Spindelkopf **24** ist vorgesehen, um die Werkzeugspindel **20** um eine Drehachse, die sich in einer Z-Richtung erstreckt, drehend anzutreiben, und weist einen Spindeldrehmotor **48** zum drehenden Antreiben der Werkzeugspindel **20** auf. Der Spindeldrehmotor **48** wird dazu verwendet, die Phase (das heißt Drehposition) der Werkzeugspindel **20** zu steuern. Der Spindeldrehmotor **48** weist einen Encoder **50** auf, um die Drehposition des Spindeldrehmotors **48** zu erfassen.

[0016] Die Säule **26** trägt den Spindelkopf **24** beweglich in der Z-Richtung (vertikalen Richtung) und weist eine Spindelkopfzustelleinheit **52** zur Bewegung des Spindelkopfs in der Z-Richtung und einen Spindelzustellmotor **54** zum Antreiben der Spindelkopfzustelleinheit **52** auf. Der Spindelzustellmotor **54** weist einen Encoder **56** zur Erfassung der Drehposition des Spindelzustellmotors **54** auf. Hierbei verläuft die Z-Richtung senkrecht zu der X-Richtung und der Y-Richtung. Kurz gesagt stehen die X-Richtung, die Y-Richtung und die Z-Richtung jeweils senkrecht (orthogonal) zueinander.

[0017] Die X-Achsen-Gleiteinheit **46** der Tischantriebseinheiten **30** weist eine X-Achsen-Zustelleinheit **58** zur Bewegung des Arbeitstisches **28** in der X-Richtung und einen X-Achsen-Zustellmotor **60** zum Antreiben der X-Achsen-Zustelleinheit **58** auf. Der X-Achsen-Zustellmotor **60** weist einen Encoder **62** zur Erfassung der Drehposition des X-Achsen-Zustellmotors **60** auf.

[0018] Die Y-Achsen-Gleiteinheit **42** der Tischantriebseinheiten **30** weist eine Y-Achsen-Zustelleinheit **54** zur Bewegung der X-Achsen-Gleiteinheit **56** (Arbeitstisch **28**) in der Y-Richtung und eine Y-Achsen-Zustellmotor **66** zum Antreiben der Y-Achsen-Zustelleinheit **64** auf. Der Y-Achsen-Zustellmotor **66** weist einen Encoder **68** zur Erfassung der Drehposition des Y-Achsen-Zustellmotors **66** auf.

[0019] Mit den so konfigurierten Tischantriebseinheiten **30** ist es möglich, den Arbeitstisch **28** in der X-Richtung und der Y-Richtung zu bewegen. Durch die Bewegung des Arbeitstisches **28** in der X-Richtung und der Y-Richtung und durch die Bewegung der Werkzeugspindel **20** in der Z-Richtung kann das an der Werkzeugspindel **20** angebrachte Werkzeug **22** entlang der zu bearbeitenden Oberfläche des Werkstücks **W**, das an dem Arbeitstisch **28** befestigt ist, bewegt werden, wobei sein Seitenflächenabschnitt (gekrümmter Abschnitt) auf die zu bearbeitende Oberfläche gepresst wird. Hierbei werden der Spindeldreh-

motor **48**, der Spindelzustellmotor **54**, der X-Achsen-Zustellmotor **60** und der Y-Achsen-Zustellmotor **66** unter der Steuerung der Steuerung **14** angetrieben.

[Aufbau der Steuervorrichtung]

[0020] Fig. 3 ist ein Blockdiagramm der Steuerung **14**. Die Steuerung **14** umfasst eine Speichereinheit **70**, eine Programmanalyseeinheit **72**, eine Bewegungssteuereinheit **74**, eine Drehsteuereinheit **76** und eine Benachrichtigungseinheit **78**. Auch wenn dies nicht dargestellt ist, umfasst die Steuerung **14** auch eine Eingabeeinheit, die es dem Nutzer ermöglicht, Informationen, Befehle und dergleichen einzugeben, und eine Anzeigeeinheit und dergleichen zur Anzeige von Informationen, die der Nutzer benötigt.

[0021] Die Speichereinheit **70** speichert ein Programm zur plastischen Umformung und dergleichen. Das Programm zur plastischen Umformung ist ein Programm, das Informationen über Befehle und dergleichen enthält, die zur plastischen Umformung des Werkstücks **W** notwendig ist, und wird durch die Programmanalyseeinheit **72** ausgelesen. Die Programmanalyseeinheit **72** analysiert das Programm zur plastischen Umformung, das aus einem Speichermedium ausgelesen wird, und gibt das Analyseergebnis an die Bewegungssteuereinheit **74** und die Drehsteuerungseinheit **76** aus.

[0022] Die Bewegungssteuereinheit **74** steuert einen Bewegungsmechanismus **80** auf der Basis des Analyseergebnisses der Programmanalyseeinheit **72**. Der Bewegungsmechanismus **80** ist vorgesehen, um die Werkzeugspindel **20** relativ zu dem Werkstück **W** zu bewegen, und weist den oben genannten X-Achsen-Zustellmotor **60**, den Y-Achsen-Zustellmotor **66** und den Spindelzustellmotor **54** auf.

[0023] Hierdurch steuert die Bewegungssteuereinheit **74** den X-Achsen-Zustellmotor **60**, den Y-Achsen-Zustellmotor **66** und den Spindelzustellmotor **54**, um die Werkzeugspindel **20** in geeigneter Weise relativ zu dem Werkstück **W** zu bewegen. Durch solche Bewegungen nimmt das an der Werkzeugspindel **20** angebrachte Werkzeug **22** einen Zustand ein, in dem der Seitenflächenabschnitt (gekrümmter Abschnitt) auf eine Bearbeitungsstartposition des auf dem Arbeitstisch **28** befestigten Werkstücks **W** gepresst wird.

[0024] In diesem Zustand steuert die Bewegungssteuereinheit **74** den X-Achsen-Zustellmotor **60** und den Y-Achsen-Zustellmotor **66**, um den Arbeitstisch **28** in geeigneter Weise in einer X-Y-Ebene zu bewegen. Als Folge dieser Bewegung wird die Werkzeugspindel **20** relativ zu dem auf dem Arbeitstisch **28** fixierten Werkstück **W** bewegt, und dadurch wird das an der Werkzeugspindel **20** angebrachte Werkzeug **22** entlang der zu bearbeitenden Oberfläche

des Werkstücks **W** zu einer Bearbeitungsendposition bewegt, wobei sein Seitenflächenabschnitt (gekrümmter Abschnitt) auf die zu bearbeitende Oberfläche gepresst wird. Hierdurch wird das Werkstück **W** plastisch deformiert.

[0025] Auf diese Weise steuert die Bewegungssteuereinheit **74** den Bewegungsmechanismus **80** so, dass das Werkzeug **22** von der Bearbeitungsstartposition entlang der zu bearbeitenden Oberfläche des Werkstücks **W** zu der Bearbeitungsendposition bewegt wird, wobei der Seitenflächenabschnitt (gekrümmter Abschnitt) des Werkzeugs **W** auf die zu bearbeitende Oberfläche gepresst wird.

[0026] Wenn das Werkzeug **22** durch Steuerung des Bewegungsmechanismus **80** von der Bearbeitungsstartposition zu der Bearbeitungsendposition bewegt wurde, gibt die Bewegungssteuereinheit **74** außerdem eine Bearbeitungsbeendigungsinformation an die Drehsteuereinheit **76**, die angibt, dass ein Zyklus der plastischen Umformung abgeschlossen ist.

[0027] Die Drehsteuereinheit **76** steuert den Spindeldrehmotor **48** auf der Basis des Analyseergebnisses der Programmanalyseeinheit **72**. Fig. 4 ist ein Diagramm, das den Zustand des Werkstücks **22** darstellt, das unter der Steuerung durch die Steuerung **14** entlang der zu bearbeitenden Oberfläche des Werkstücks **W** bewegt wurde. Um die Erläuterung zu vereinfachen, wird angenommen, dass das Werkstück **W** eine rechteckige Parallelepipid (Quader) -form mit abgerundeten Ecken hat und dass die zu bearbeitende Oberfläche des Werkstücks **W** seitliche Flächen in der X-Richtung und der Y-Richtung sind. Man beachte, dass Fig. 4 das Werkstück **W** und das Werkzeug **22** auf einer Ebene aus Sicht der Werkzeugspindel **20** zeigt.

[0028] Die Drehsteuereinheit **76** steuert den Spindeldrehmotor **48** gemeinsam mit der Bewegung des Tisches **28** in der X-Y-Ebene durch die Bewegungssteuereinheit **74**. An einer als Referenz verwendeten Referenzposition **SP** ist somit eine Normale **NV** des Seitenflächenabschnitts (gekrümmter Abschnitt) des Werkzeugs **22**, das an der Werkzeugspindel **20** angebracht ist, zu der zu bearbeitenden Oberfläche des Werkstücks **W** orientiert. Auch in dem Fall, dass die zu bearbeitende Oberfläche des Werkstücks **W** gekrümmt ist, wird dementsprechend das Werkstück **22** entlang der zu bearbeitenden Oberfläche des Werkstücks **W** bewegt, wobei die Referenzposition **SP** des Seitenflächenabschnitts (gekrümmter Abschnitt) immer auf die zu bearbeitende Oberfläche gepresst wird. Hierbei ist die Normale **NV** an der Referenzposition **SP** eine Normale an dem Seitenflächenabschnitt (gekrümmter Abschnitt) des Werkzeugs **22**, der in Kontakt mit der zu bearbeitenden Oberfläche des Werkstücks **W** steht.

[0029] Auf diese Weise steuert die Drehsteuereinheit **76** den Spindeldrehmotor **48** so, dass an einer als Referenz verwendeten Referenzposition **SP** die Normale **NV** des Seitenflächenabschnitts (gekrümmter Abschnitt) des Werkzeugs **22** zu der zu bearbeitenden Oberfläche des Werkstücks **W** orientiert ist.

[0030] Außerdem zählt die Drehsteuereinheit **76** die Anzahl der plastischen Umformschritte oder -vorgänge auf der Basis der von der Bewegungssteuereinheit **74** zur Verfügung gestellten Bearbeitungsbeendigungsinformation und stellt jedes Mal, wenn eine festgelegte Anzahl von plastischen Umformvorgängen beendet ist, eine neue Referenzposition **SP** an einer Position ein, die sich von der zuvor eingestellten Position unterscheidet.

[0031] Fig. 5 ist ein Diagramm, das einen Einstellzustand (1) der durch die Steuerung **14** eingestellten Referenzposition **SP** darstellt. In dem Fall der vorliegenden Ausführungsform stellt die Drehsteuereinheit **76** eine neue Referenzposition **SP** an einer Position ein, die gegenüber der Position, die als Referenzposition **SP** bei dem letzten plastischen Umformvorgang der festgelegten Anzahl eingestellt war, um einen festgelegten Winkel $\Theta 1$ in der Umfangsrichtung des Werkzeugs **22** verschoben ist. Beim Einstellen der neuen Referenzposition **SP** steuert dementsprechend die Drehsteuereinheit **76** den Spindeldrehmotor **48** so, dass er die Normale **NV** des Werkzeugs **22** an der neu eingestellten Referenzposition **SP** zu der zu bearbeitenden Oberfläche des Werkstücks **W** orientiert.

[0032] Fig. 6 ist ein Diagramm, das einen Einstellzustand (2) der durch die Steuerung **14** eingestellten Referenzposition **SP** darstellt. Beim Einstellen der neuen Referenzposition **SP** berechnet die Drehsteuereinheit **76** einen Winkel $\Theta 2$ zwischen der Position P_1 , die als aktuelle Referenzposition **SP** eingestellt ist, und der Position P_0 , die ursprünglich als Referenzposition **SP** eingestellt war. Wenn der Winkel $\Theta 2$ 360° überschreitet, generiert die Drehsteuereinheit **76** einen Benachrichtigungsbefehl und gibt den generierten Benachrichtigungsbefehl an die Benachrichtigungseinheit **78** aus.

[0033] Die Benachrichtigungseinheit **78** gibt eine Nachricht aus, dass das Werkzeug **22** ersetzt werden sollte, wenn es den Benachrichtigungsbefehl von der Drehsteuereinheit **76** erhält. Beispiele der Benachrichtigung durch die Benachrichtigungseinheit **78** umfassen ein Anzeigeverfahren zur Anzeige auf einer Anzeigeeinheit, ein Tonerzeugungsverfahren zur Erzeugung eines Alarms durch einen Tongenerator, ein Lichterzeugungsverfahren zur Erzeugung eines Lichtes durch eine Lampe, beispielsweise ein Warnlicht oder dergleichen. Die Benachrichtigungen können kombiniert verwendet werden.

[Plastisches Umformverfahren]

[0034] Fig. 7 ist ein Fließbild, das den Ablauf eines plastischen Umformverfahrens zeigt, das auf der Basis eines Analyseergebnisses eines Programms zur plastischen Umformung in der Steuerung **14** ausgeführt wird. In Schritt **S1** steuert die Bewegungssteuerungseinheit **74** den Bewegungsmechanismus **80** so, dass das Werkzeug **22** so angeordnet wird, dass der Seitenflächenabschnitt des Werkzeugs **22** an einer Bearbeitungsstartposition auf die zu bearbeitende Oberfläche des Werkstücks **W** gepresst wird. Außerdem stellt die Drehsteuerungseinheit **76** in Schritt **S1** eine anfängliche Referenzposition **SP** an einer beliebigen Position des Kontaktabschnitts zwischen der zu bearbeitenden Oberfläche und dem Seitenflächenabschnitt (gekrümmter Abschnitt) der Werkzeugs **22** ein, das an der Bearbeitungsstartposition durch die Bewegungssteuerungseinheit **74** gepresst wurde, und der Prozess geht weiter zu Schritt **S2**.

[0035] In Schritt **S2** steuert die Bewegungssteuerungseinheit **74** den Bewegungsmechanismus **80** so, dass das Werkzeug **22** entlang der zu bearbeitenden Oberfläche des Werkstücks **W** bewegt wird, wobei der Seitenflächenabschnitt des Werkzeugs **22** auf die zu bearbeitende Oberfläche gepresst wird, und das Verfahren geht weiter zu Schritt **S3**. In Schritt **S3** erkennt die Drehsteuerungseinheit **76**, ob die zu bearbeitende Oberfläche, entlang welcher sich das Werkzeug **22** bewegt, gekrümmt oder flach ist. Hierbei geht der Prozess weiter zu Schritt **S4**, wenn die Drehsteuerungseinheit **76** erkennt, dass die zu bearbeitende Oberfläche, entlang der sich das Werkzeug **22** bewegt, gekrümmt ist, oder weiter zu Schritt **S5**, wenn die Drehsteuerungseinheit **76** erkennt, dass die zu bearbeitende Oberfläche flach ist.

[0036] In Schritt **S4** steuert die Drehsteuerungseinheit **76** den Spindeldrehmotor **48** gemeinsam mit der Steuerung des Bewegungsmechanismus **80** so, dass die Normale **NV** an der Referenzposition **SP**, die in Schritt **S1** eingestellt wurde, zu der zu bearbeitenden Oberfläche des Werkstücks **W** orientiert ist, und der Prozess geht weiter zu Schritt **S6**. In Schritt **S5** hält die Drehsteuerungseinheit **76** die Position des Spindeldrehmotors **48** durch Erregen des Spindeldrehmotors **48**, so dass die Normale **NV** an der Referenzposition **SP**, die in Schritt **S1** eingestellt wurde, weiterhin zu der zu bearbeitenden Oberfläche des Werkstücks **W** orientiert bleibt, und der Prozess geht weiter zu Schritt **S6**.

[0037] In Schritt **S6** erkennt die Bearbeitungssteuerungseinheit **74**, ob das Werkzeug **22** an der Bearbeitungsendposition auf der zu bearbeitenden Oberfläche des Werkstücks **W** angeordnet ist oder nicht. Wenn hierbei das Werkzeug **22** die Bearbeitungsendposition noch nicht erreicht hat, geht der Schritt weiter zu Schritt **S2**, bei dem die Bewegungssteuerungsein-

heit **74** weiterhin den oben genannten Bewegungsmechanismus **80** steuert.

[0038] Wenn andererseits das Werkzeug **22** an der Bearbeitungsendposition angeordnet ist, steuert die Bewegungssteuerungseinheit **74** den Bewegungsmechanismus **80**, um das Werkzeug **22** von der zu bearbeitenden Oberfläche des Werkstücks **W** zu einer festgelegten Standby-Position zu bewegen. Die Drehsteuerungseinheit **76** erhöht ihren Zählwert der plastischen Umformvorgänge um 1. Hierdurch wird der plastische Umformprozess beendet.

[Referenzpositionseinstellverfahren]

[0039] Fig. 8 ist ein Fließbild, das den Ablauf eines Referenzpositionseinstellverfahrens zeigt, das auf der Basis des Analyseergebnisses des Programms zur plastischen Umformung in der Steuerung **14** ausgeführt wird. In Schritt **S11** erkennt die Drehsteuerungseinheit **76**, ob die festgelegte Anzahl an plastischen Umformvorgängen durchgeführt worden ist, und der Prozess geht weiter zu Schritt **S12**, wenn die festgelegte Anzahl von plastischen Umformvorgängen durchgeführt wurde.

[0040] In Schritt **S12** stellt die Drehsteuerungseinheit **76** eine neue Referenzposition **SP** an einer Position ein, die gegenüber der Position, die als Referenzposition **SP** bei dem letzten plastischen Umformvorgang der festgelegten Anzahl von Umformvorgängen eingestellt wurde, um einen festgelegten Winkel Θ_1 in der Umfangsrichtung des Werkzeugs **22** verschoben ist. Anschließend kehrt der Prozess zurück zu Schritt **S11**, bei dem die Drehsteuerungseinheit **76** darauf wartet, zu erkennen, dass die festgelegte Anzahl an plastischen Umformvorgängen durchgeführt wurde.

[Benachrichtigungsprozess]

[0041] Fig. 9 ist ein Fließbild, das den Ablauf eines Benachrichtigungsprozesses zeigt, der auf der Basis des Analyseergebnisses des Programms zur plastischen Umformung in der Steuerung **14** ausgeführt wird. In Schritt **S21** erkennt die Drehsteuerungseinheit **76**, ob eine neue Referenzposition **SP** in dem Referenzpositionseinstellprozess eingestellt wurde oder nicht, und der Prozess geht weiter zu Schritt **S22**, wenn die neue Referenzposition **SP** eingestellt wurde.

[0042] In Schritt **S22** berechnet die Drehsteuerungseinheit **76** einen Winkel Θ_2 zwischen der Position **P₁**, die durch den Referenzpositionseinstellprozess als neue Referenzposition **SP** eingestellt wurde, und der Position **P₀**, die ursprünglich als Referenzposition **SP** eingestellt wurde, und der Prozess geht weiter zu Schritt **S23**, wenn der Winkel Θ_2 360° übersteigt. In Schritt **S23** erfolgt durch die Benachrichtigungseinheit **78** eine Benachrichtigung, dass das Werkzeug **22** ausge-

tauscht werden sollte. Anschließend endet der Benachrichtigungsprozess.

[Wirkungsweise und Vorteile]

[0043] Wie oben beschrieben wurde, steuert die Werkzeugmaschine **10** gemäß der vorliegenden Ausführungsform den Bewegungsmechanismus **80** so, dass das an der Werkzeugspindel **20** befestigte Werkzeug **22** entlang der zu bearbeitenden Oberfläche des Werkstücks **W** bewegt wird, wobei sein Seitenflächenabschnitt (gekrümmter Abschnitt) auf die zu bearbeitende Oberfläche gepresst wird. Hierbei wird der Spindeldrehmotor **48** in der Werkzeugmaschine **10** so gesteuert, dass an der als Referenz verwendeten Referenzposition **SP** die Normale **NV** des Seitenflächenabschnitts (gekrümmter Abschnitt) des Werkzeugs **22** zu der zu bearbeitenden Oberfläche orientiert ist. Kurz gesagt hält die Werkzeugmaschine **10** eine konstante Drehphase des Spindeldrehmotors **48** relativ zu der zu bearbeitenden Oberfläche aufrecht.

[0044] Durch diese Konfiguration ist die Werkzeugmaschine **10** gemäß der vorliegenden Ausführungsform in der Lage, die bearbeitete Oberfläche des Werkstücks **W** plastisch zu deformieren, indem der Seitenflächenabschnitt (gekrümmter Abschnitt) des Werkzeugs **22** gepresst wird, ohne das Werkzeug **22** zu bewegen, wobei die Werkzeugspindel **20** um den gesamten Umfang der Werkzeugspindel **20** gedreht wird. Daher können bei der Werkzeugmaschine **10** gemäß der vorliegenden Ausführungsform über den gesamten Umfang der Werkzeugspindel **20** Vibrationen vermieden werden, die andernfalls durch die Rotation der Werkzeugspindel **20** erzeugt und auf die zu bearbeitende Oberfläche übertragen würden. Dadurch kann eine glattere bearbeitete Oberfläche erreicht werden.

[0045] In dem Fall, wenn das Werkzeug **22** ohne Antrieb des Spindeldrehmotors **48** bewegt wird, um die Drehposition fixiert zu halten, ändert sich ein Bearbeitungswirkabschnitt des Werkzeugs, der bewegt wird, wobei er auf die zu bearbeitende Oberfläche des Werkstücks **W** gepresst wird, an einem gekrümmten Abschnitt der zu bearbeitenden Oberfläche. In dem Fall, wenn das Werkstück **22** an der Werkzeugspindel **20** angebracht ist, wobei es geneigt ist, ändert sich aus diesem Grund die Schrägstellung des Werkzeugs **22**, das gepresst wird, an dem gekrümmten Abschnitt der zu bearbeitenden Oberfläche. Dadurch neigt die bearbeitende Oberfläche dazu, ungleichmäßig zu werden, wenn sich die Schrägstellung ändert. Im Gegensatz dazu ist bei der Werkzeugmaschine **10** gemäß der vorliegenden Erfindung ihre Normale **NV** an der Referenzposition **SP** durch die Steuerung des Spindeldrehmotors **48** immer zu der zu bearbeitenden Oberfläche orientiert. Auch wenn das Werkzeug **22** relativ zu der Werkzeugspindel **20** geneigt ist,

wird hierdurch die Schrägstellung des Werkzeugs **22**, das durch den gekrümmten Abschnitt der zu bearbeitenden Oberfläche gepresst wird, unverändert gelassen. Dementsprechend ist es möglich, Unebenheiten der bearbeiteten Oberfläche durch die Schrägstellung des Werkzeugs **22** relativ zu der Werkzeugspindel **20** zu vermeiden, und dadurch lässt sich eine glattere bearbeitete Oberfläche erreichen.

[Erste Modifikation]

[0046] Auch wenn bei der vorhergehenden Ausführungsform eine Trockenbearbeitung beschrieben wurde, ist auch eine Nassbearbeitung verwendbar. In diesem Fall wird eine Schneidfluidzufuhreinrichtung vorgesehen, um ein Schneidfluid zwischen dem Werkzeug **22** und dem Werkstück **W** zuzuführen.

[Zweite Modifikation]

[0047] Auch wenn bei der vorangehenden Ausführungsform der Arbeitstisch **28** dazu ausgestaltet ist, in der X-Y-Ebene bewegt zu werden, kann auch die Werkzeugspindel **20** (der Spindelkopf **24**) dazu ausgestaltet sein, in der X-Y-Ebene bewegt zu werden. Somit kann die Werkzeugspindel **20** (der Spindelkopf **24**) in der X-Richtung und der Y-Richtung bewegt werden.

[Dritte Modifikation]

[0048] Auch wenn bei der vorangehenden Ausführungsform der Arbeitstisch **28** keine Drehwelle aufweist, kann eine Drehwelle an dem Arbeitstisch **28** vorgesehen sein. In dem Fall, wenn der Arbeitstisch **28** die Drehwelle aufweist, kann die Steuerung **14** einen Motor für die Drehwelle so steuern, dass die Normale **NV** des Seitenflächenabschnitts (gekrümmter Abschnitt) des Werkzeugs **22** an dem als Referenz verwendeten Referenzposition **SP** zu der zu bearbeitenden Oberfläche orientiert ist. In diesem Fall hält die Steuerung **14** den Spindeldrehmotor **48** fest, ohne ihn anzutreiben. Somit steuert in Schritt **S4** in **Fig. 7** die Drehsteuereinheit **76** den Motor zur Drehung des Arbeitstisches **28** gemeinsam mit der Steuerung des Bewegungsmechanismus **80**, so dass die Normale **NV** an der Referenzposition **SP**, die in Schritt **S1** eingestellt wurde, zu der zu bearbeitenden Oberfläche des Werkstücks **W** orientiert wird. Außerdem hält in Schritt **S5** in **Fig. 7** die Drehsteuereinheit **76** die Drehposition des Arbeitstisches **28** durch Erregung des Motors zur Drehung des Arbeitstisches **28**, so dass die Normale **NV** an der Referenzposition **SP**, die in Schritt **S1** eingestellt wurde, weiterhin zu der zu bearbeitenden Oberfläche des Werkstücks **W** orientiert ist. Auf diese Weise kann der Spindeldrehmotor **48** als ein Motor zur Drehung der Werkzeugspindel **20** relativ zu dem Werkstück **W** verwendet werden. Alternativ kann zusätzlich ein Motor vorgesehen sein, um

die an dem Arbeitstisch **28** vorgesehene Drehwelle zu drehen.

[Vierte Modifikation]

[0049] Auch wenn das Werkzeug **22** bei der vorangehenden Ausführungsform eine zylindrische Form hat, kann die Querschnittsform des Werkzeugs **22** tränenförmig, elliptisch oder ähnlich ausgestaltet sein. Kurz gesagt kann jedes Werkzeug eingesetzt werden, solange seine Seitenfläche wenigstens teilweise gekrümmt ist. Außerdem wird empfohlen, dass die Oberflächenrauheit des gekrümmten Abschnitts 1,0 µm oder weniger beträgt. Je niedriger die Oberflächenrauheit des gekrümmten Abschnitts des Werkzeugs **22** ist, desto glatter kann die bearbeitete Oberfläche werden. Hierbei kann die Oberflächenrauheit durch ein Messverfahren gemessen werden, das einem festgelegten Standard entspricht. Beispielsweise wird in dem Fall der Verwendung des Standards JIS 0601-1976 die Oberflächenrauheit als eine Zehnpunkt Durchschnittrauheit (Rz) gemessen.

[Fünfte Modifikation]

[0050] Auch wenn bei der vorangehenden Ausführungsform jede Position des Werkzeugs **22**, die in der Umfangsrichtung verschoben ist, als Referenzposition **SP** eingestellt wird, können als Referenzposition **SP** auch Positionen gewählt werden, die in der Längsrichtung des Werkzeugs **22** verschoben sind. Alternativ können als Referenzposition **SP** auch Positionen eingestellt werden, die in Richtungen verschoben sind, die sich helixförmig um die zentrale Achse des Werkzeugs **22** erstrecken.

[Sechste Modifikation]

[0051] Die vorhergehenden ersten bis fünften Modifikationen können in beliebiger Weise kombiniert werden, solange hierbei keine Widersprüche entstehen.

[Technische Konzepte und Ideen]

[0052] Die technischen Ideen, die sich aus der oben beschriebenen Ausführungsform und den ersten bis sechsten Modifikationen ableiten lassen, werden nachfolgend beschrieben.

[Erste technische Idee]

[0053] Eine Werkzeugmaschine (**10**) mit einer Werkzeugspindel (**20**) und einem Arbeitstisch (**28**) zum Tragen eines Werkstücks (**W**) zur Durchführung eines plastischen Umformvorgangs an dem Werkstück (**W**) mit einem an der Werkzeugspindel (**20**) angebrachten Werkzeug (**22**) durch Relativverschiebung der Werkzeugspindel (**20**) und des Arbeitstisches (**28**), wobei das Werkzeug (**22**) wenigstens an einem Teil einer Seitenfläche einen gekrümmten Abschnitt

hat, und wobei die Werkzeugmaschine einen Bewegungsmechanismus (**80**) aufweist, der dazu ausgestaltet ist, die Werkzeugspindel (**20**) relativ zu dem Werkstück (**W**) zu bewegen, einen Motor (**48**), der dazu ausgestaltet ist, die Werkzeugspindel (**20**) relativ zu dem Werkstück (**W**) zu drehen, eine Bewegungssteuereinheit (**74**), die dazu ausgestaltet ist, den Bewegungsmechanismus (**80**) so zu steuern, dass das Werkzeug (**22**) entlang einer zu bearbeitenden Oberfläche des Werkstücks (**W**) bewegt wird, wobei der gekrümmte Abschnitt auf die zu bearbeitende Oberfläche des Werkstücks (**W**) gepresst wird, und eine Drehsteuereinheit (**76**), die dazu ausgestaltet ist, den Motor (**48**) so zu steuern, dass eine Normale (**NV**) des gekrümmten Abschnitts an einer Referenzposition (**SP**), die als Referenz verwendet wird, zu der zu bearbeitenden Oberfläche des Werkstücks (**W**) orientiert ist.

[0054] Mit dieser Konfiguration ist es möglich, die bearbeitete Oberfläche plastisch zu deformieren, ohne die Werkzeugspindel (**20**) um den gesamten Umfang der Werkzeugspindel (**20**) zu drehen, so dass Vibrationen, die andernfalls durch die Rotation bewirkt und auf die bearbeitete Oberfläche übertragen würden, vermieden werden können. Hierdurch ist es möglich, die Oberfläche des Werkstücks (**W**) glatt zu bearbeiten.

[0055] Die Drehsteuereinheit (**76**) kann dazu ausgestaltet sein, die Referenzposition (**SP**) an einer Position einzustellen, die sich von einer zuvor eingestellten Position unterscheidet, wenn eine festgelegte Anzahl von plastischen Umformvorgängen beendet ist. Durch diese Anordnung ist es möglich, den Bearbeitungswirkabschnitt des Werkzeugs (**22**) im Vergleich zu dem Fall, wenn die Referenzposition (**SP**) nicht verschoben wird, zu erweitern. Als Konsequenz ist es möglich, die Oberfläche einer größeren Zahl von Werkstücken (**W**) glatt zu bearbeiten.

[0056] Der gekrümmte Abschnitt kann bogenförmig ausgestaltet sein, und das Werkzeug (**22**) kann eine zylindrische Form haben. Mit dieser Ausgestaltung ist es möglich, die Oberfläche des Werkstücks (**W**) glatt zu bearbeiten.

[0057] Die Drehsteuereinheit (**76**) kann dazu ausgestaltet sein, eine neue Referenzposition (**SP**) an einer Position einzustellen, die gegenüber einer Position, die bei dem letzten der festgelegten Zahl von plastischen Umformvorgängen als Referenzposition (**SP**) eingestellt wurde, um einen festgelegten Winkel in der Umfangsrichtung des Werkzeugs (**22**) verschoben ist. Mit dieser Anordnung ist es möglich, die Oberfläche des Werkstücks (**W**) glatt zu bearbeiten.

[0058] Die Werkzeugmaschine (**10**) kann außerdem eine Benachrichtigungseinheit (**78**) aufweisen, die dazu ausgestaltet ist, eine Benachrichtigung auszu-

geben, dass das Werkzeug (22) ausgetauscht werden sollte, wenn ein Winkel zwischen einer als neue Referenzposition (SP) eingestellten Position und einer Position, die ursprünglich als Referenzposition (SP) eingestellt wurde, 360° übersteigt. Es ist möglich, das Werkzeug (22) prompt auszutauschen, um eine hohe Bearbeitungsgenauigkeit einfach zu gewährleisten.

[0059] Die Oberflächenrauheit des gekrümmten Abschnitts kann 1,0 µm oder weniger betragen. Je geringer die Oberflächenrauheit an dem gekrümmten Abschnitt des Werkzeugs (22) ist, desto glatter kann die bearbeitete Oberfläche sein.

[Zweite technische Idee]

[0060] Ein plastisches Umformverfahren zur Durchführung eines plastischen Umformvorgangs an einem Werkstück (W) mit einem an einer Werkzeugspindel (20) angebrachten Werkzeug (22) durch Verwendung einer Werkzeugmaschine (10), die die Werkzeugspindel (20) und einen Arbeitstisch (28) zum Tragen des Werkstücks (W) aufweist, und durch Bewegung der Werkzeugspindel (20) und des Arbeitstisches (28) relativ zueinander, wobei das Werkzeug (22) an wenigstens einem Teil seiner Seitenfläche einen gekrümmten Abschnitt aufweist, und wobei die Werkzeugmaschine (10) einen Bewegungsmechanismus (80) aufweist, der dazu ausgestaltet ist, die Werkzeugspindel (20) relativ zu dem Werkstück (W) zu bewegen, und einen Motor (48), der dazu ausgestaltet ist, die Werkzeugspindel (20) relativ zu dem Werkstück (W) zu drehen, und wobei das Verfahren einen Bewegungssteuerungsschritt zur Steuerung des Bewegungsmechanismus (80) aufweist, so dass das Werkzeug (22) entlang der zu bearbeitenden Oberfläche des Werkstücks (2W) bewegt wird, wobei der gekrümmte Abschnitt auf die zu bearbeitende Oberfläche des Werkstücks (W) gepresst wird, und einen Drehsteuerungsschritt zur Steuerung des Motors (48) so, dass eine Normale (NV) des gekrümmten Abschnitts an einer Referenzposition (SP), die als Referenz verwendet wird, zu der zu bearbeitenden Oberfläche des Werkstücks (W) orientiert ist.

[0061] Durch diese Anordnung ist es möglich, die bearbeitete Oberfläche plastisch zu deformieren, ohne die Werkzeugspindel (20) um den gesamten Umfang der Werkzeugspindel (20) zu drehen, und Vibrationen zu vermeiden, die andernfalls durch die Rotation bewirkt und auf die bearbeitete Oberfläche übertragen würden. Hierdurch ist es möglich, die Oberfläche des Werkstücks (W) glatt zu bearbeiten.

[0062] Der Drehsteuerungsschritt kann das Einstellen der Referenzposition (SP) an einer Position umfassen, die sich von einer zuvor eingestellten Position unterscheidet, jedes Mal, wenn eine bestimmte Zahl von plastischen Umformvorgängen abgeschlossen

ist. Mit dieser Anordnung ist es möglich, den Bearbeitungswirkabschnitt des Werkzeugs (22) im Vergleich zu einem Fall zu erweitern, bei dem die Referenzposition (SP) nicht verschoben wird. Als Konsequenz ist es möglich, die Oberflächen einer größeren Zahl von Werkstücken (W) glatt zu bearbeiten.

[0063] Der gekrümmte Abschnitt kann bogenförmig ausgebildet sein, und das Werkzeug (22) kann eine zylindrische Form haben. Mit dieser Konfiguration ist es möglich, die Oberflächen des Werkstücks (W) glatt zu bearbeiten.

[0064] Der Drehsteuerungsschritt kann das Einstellen einer neuen Referenzposition (SP) an einer Position umfassen, die gegenüber einer Position, die bei dem letzten der festgelegten Zahl von plastischen Umformvorgängen als Referenzposition (SP) eingestellt wurde, um einen festgelegten Winkel in der Umfangsrichtung des Werkzeugs (22) verschoben ist. Mit dieser Konfiguration ist es möglich, die Oberfläche des Werkstücks (W) glatt zu bearbeiten.

[0065] Das Verfahren kann außerdem einen Benachrichtigungsschritt aufweisen, in dem eine Benachrichtigung erfolgt, dass das Werkzeug (22) ausgetauscht werden sollte, wenn ein Winkel zwischen einer Position, die als neue Referenzposition (SP) eingestellt wird, und einer Position, die ursprünglich als Referenzposition (SP) eingestellt wurde, 360° übersteigt. Mit dieser Konfiguration ist es möglich, den Austausch des Werkzeugs (22) auszulösen, um einfach eine hohe Bearbeitungsgenauigkeit zu gewährleisten.

[0066] Die Oberflächenrauheit des gekrümmten Abschnitts kann auf 1,0 µm oder weniger eingestellt werden. Je besser die Oberflächenrauheit an dem gekrümmten Abschnitt des Werkzeugs (22) ist, desto glatter kann die bearbeitete Oberfläche sein. Mit dieser Konfiguration ist es möglich, die Oberfläche des Werkstücks (W) glatt zu bearbeiten.

Patentansprüche

1. Eine Werkzeugmaschine (10) mit einer Werkzeugspindel (20) und einem Arbeitstisch (28) zum Tragen eines Werkstücks (W) zur Durchführung eines plastischen Umformvorgangs an dem Werkstück (W) mit einem Werkzeug (22), das an der Werkzeugspindel (20) angebracht ist, durch Bewegung der Werkzeugspindel (20) und des Arbeitstisches (28) relativ zueinander, wobei das Werkzeug (22) an wenigstens einem Teil einer Seitenfläche einen gekrümmten Abschnitt aufweist, und wobei die Werkzeugmaschine umfasst: einen Bewegungsmechanismus (80), der dazu ausgestaltet ist, die Werkzeugspindel (20) relativ zu dem Werkstück (W) zu bewegen,

einen Motor (48), der dazu ausgestaltet ist, die Werkzeugspindel (20) relativ zu dem Werkstück (W) zu bewegen,

eine Bewegungssteuereinheit (74), die dazu ausgestaltet ist, den Bewegungsmechanismus (80) so zu steuern, dass das Werkzeug (22) entlang einer zu bearbeitenden Oberfläche des Werkstücks (W) bewegt wird, wobei der gekrümmte Abschnitt auf die zu bearbeitende Oberfläche des Werkstücks (W) gepresst wird, und

eine Drehsteuereinheit (76), die dazu ausgestaltet ist, den Motor (48) so zu steuern, dass eine Normale (NV) des gekrümmten Abschnitts an einer Referenzposition (SP), die als Referenz verwendet wird, zu der zu bearbeitenden Oberfläche des Werkstücks (W) orientiert wird.

2. Die Werkzeugmaschine (10) nach Anspruch 1, wobei die Drehsteuereinheit (76) dazu ausgestaltet ist, die Referenzposition (SP) an einer Position einzustellen, die sich von einer zuvor eingestellten Position unterscheidet, jedes Mal, wenn eine festgelegte Zahl von plastischen Umformvorgängen beendet ist.

3. Die Werkzeugmaschine (10) nach Anspruch 1 oder 2, wobei der gekrümmte Abschnitt bogenförmig ausgebildet ist.

4. Die Werkzeugmaschine (10) nach Anspruch 3, wobei die Drehsteuereinheit (76) dazu ausgestaltet ist, eine neue Referenzposition (SP) an einer Position einzustellen, die gegenüber einer Position, die bei einem letzten der festgelegten Zahl von plastischen Umformvorgängen als Referenzposition (SP) eingestellt war, um einen festgelegten Winkel in der Umfangsrichtung des Werkzeugs (22) verschoben ist.

5. Die Werkzeugmaschine (10) nach Anspruch 4, wobei das Werkzeug (22) eine zylindrische Form hat.

6. Die Werkzeugmaschine (10) nach Anspruch 5, außerdem umfassend eine Benachrichtigungseinheit (78), die dazu ausgestaltet ist, eine Benachrichtigung auszugeben, dass das Werkzeug (22) ausgetauscht werden sollte, wenn ein Winkel zwischen einer Position, die als neue Referenzposition (SP) eingestellt wird, und einer Position, die ursprünglich als Referenzposition (SP) eingestellt wurde, 360° überschreitet.

7. Die Werkzeugmaschine (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei eine Oberflächenrauheit des gekrümmten Abschnitts 1,0 µm oder weniger beträgt.

8. Ein plastisches Umformverfahren zur Durchführung eines plastischen Umformvorgangs an einem Werkstück (W) mit einem Werkzeug (22), das an einer Werkzeugspindel (20) angebracht ist, durch Verwenden einer Werkzeugmaschine (10), welche die Werkzeugspindel (20) und einen Arbeitstisch (28)

zum Tragen des Werkstücks (W) aufweist, und durch Bewegung der Werkzeugspindel (20) und des Arbeitstisches (28) relativ zueinander,

wobei das Werkzeug (22) an wenigstens einem Teil einer Seitenfläche einen gekrümmten Abschnitt aufweist, und

wobei die Werkzeugmaschine (10) einen Bewegungsmechanismus (80) aufweist, der dazu ausgestaltet ist, die Werkzeugspindel (20) relativ zu dem Werkstück (W) zu bewegen, und einen Motor (48), der dazu ausgestaltet ist, die Werkzeugspindel (20) relativ zu dem Werkstück (W) zu drehen,

wobei das Verfahren umfasst:

einen Bewegungssteuerungsschritt zur Steuerung des Bewegungsmechanismus (80), so dass ein Werkzeug (22) entlang einer zu bearbeitenden Oberfläche des Werkstücks (W) bewegt wird, wobei der gekrümmte Abschnitt auf die zu bearbeitende Oberfläche gepresst wird, und

einen Drehsteuerungsschritt zur Steuerung des Motors (48) so, dass eine Normale (NV) des gekrümmten Abschnitts an einer Referenzposition (SP), die als Referenz verwendet wird, zu der Oberfläche des Werkstücks (W) orientiert ist.

9. Das plastische Umformverfahren nach Anspruch 8, wobei der Drehsteuerungsschritt das Einstellen der Referenzposition (SP) an einer Position umfasst, welche sich von einer zuvor eingestellten Position unterscheidet, jedes Mal, wenn eine festgelegte Anzahl von plastischen Umformvorgängen beendet ist.

10. Das plastische Umformverfahren nach Anspruch 8 oder 9, wobei der gekrümmte Abschnitt bogenförmig ausgebildet ist.

11. Das plastische Umformverfahren nach Anspruch 10, wobei der Drehsteuerungsschritt das Einstellen einer neuen Referenzposition (SP) umfasst, welche gegenüber einer Position, die bei einem letzten der festgelegten Zahl von plastischen Umformvorgängen als Referenzposition (SP) eingestellt war, um einen festgelegten Winkel in der Umfangsrichtung des Werkzeugs (22) verschoben ist.

12. Das plastische Umformverfahren nach Anspruch 11, wobei das Werkzeug (22) eine zylindrische Form hat.

13. Das plastische Umformverfahren nach Anspruch 12, außerdem umfassend einen Benachrichtigungsschritt, in dem eine Benachrichtigung ausgegeben wird, dass das Werkzeug (22) ausgetauscht werden sollte, wenn ein Winkel zwischen einer Position, die als neue Referenzposition (SP) eingestellt wird, und einer Position, die ursprünglich als Referenzposition (SP) eingestellt wurde, 360° überschreitet.

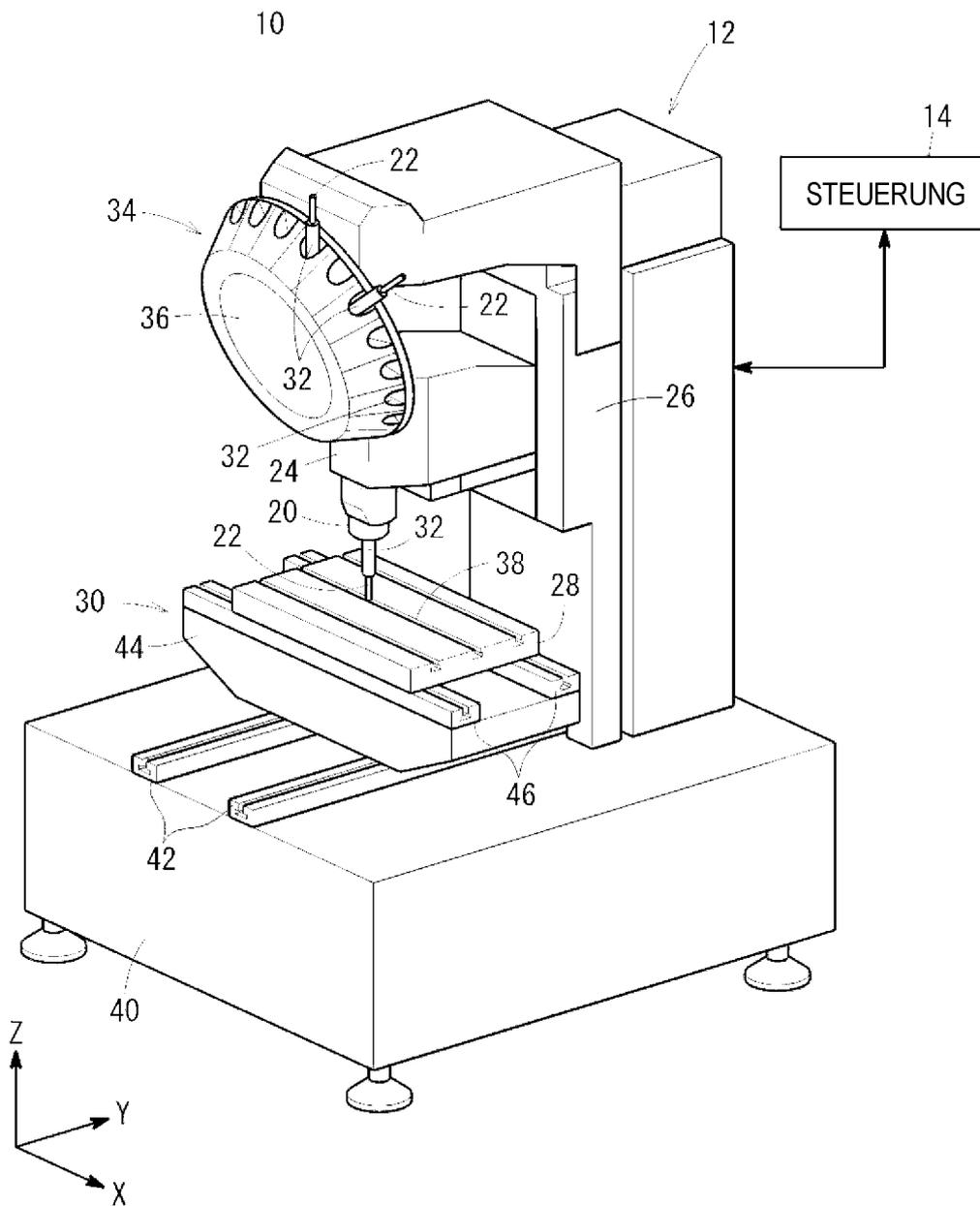
14. Das plastische Umformverfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 13, wobei eine Oberflächenrau-

heit des gekrümmten Abschnitts $1,0\ \mu\text{m}$ oder weniger beträgt.

Es folgen 9 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1



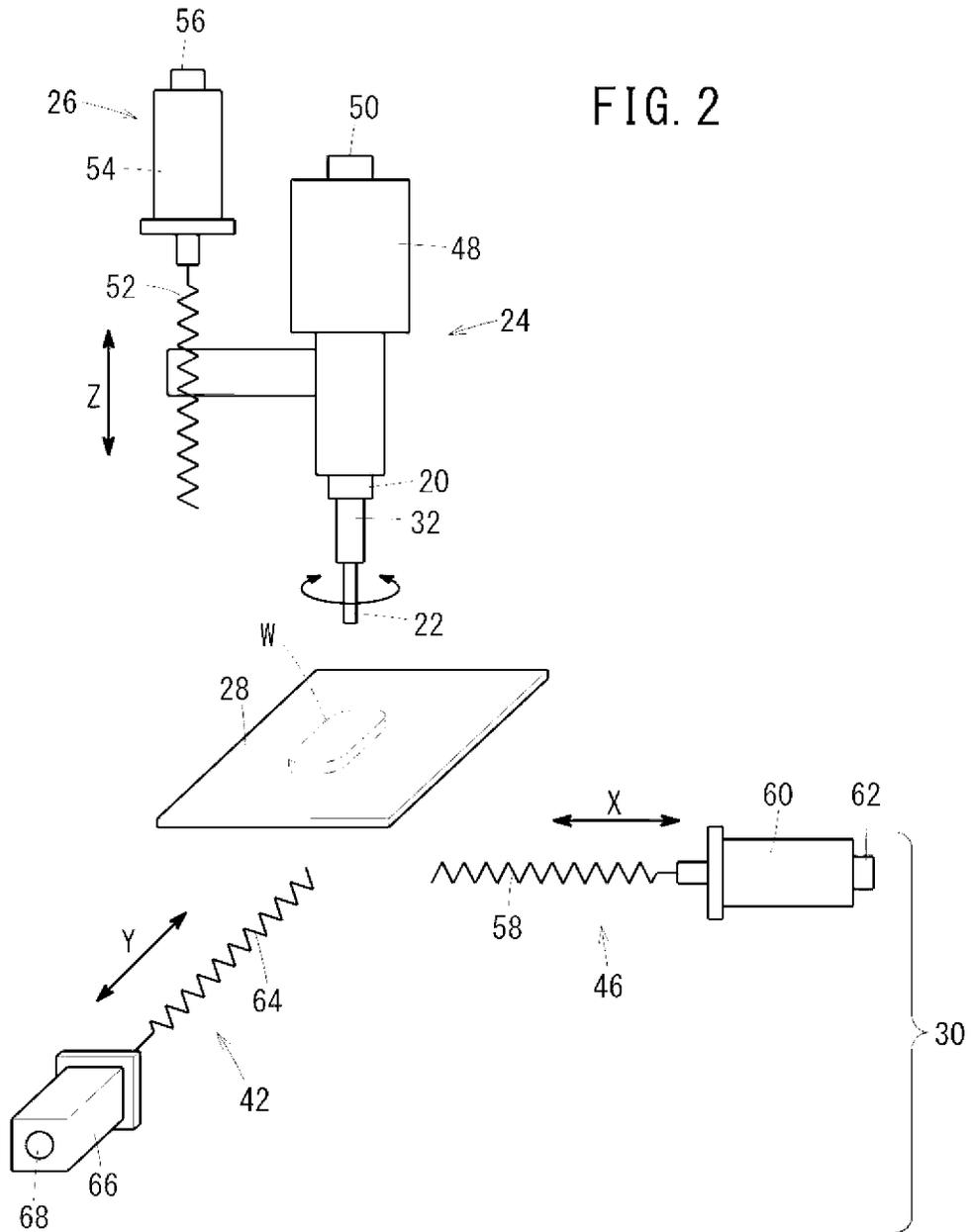


FIG. 3

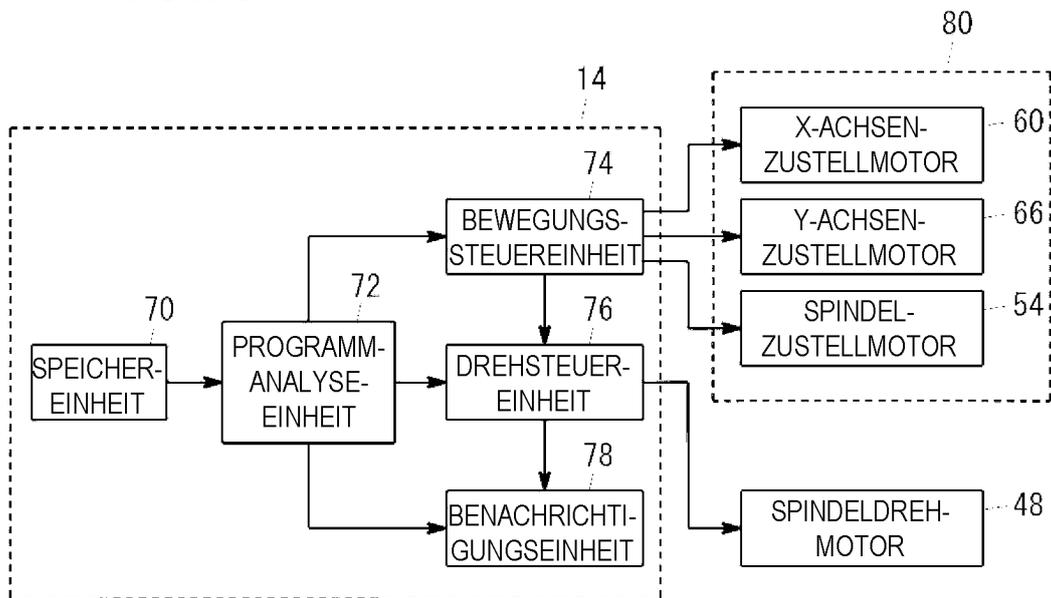


FIG. 4

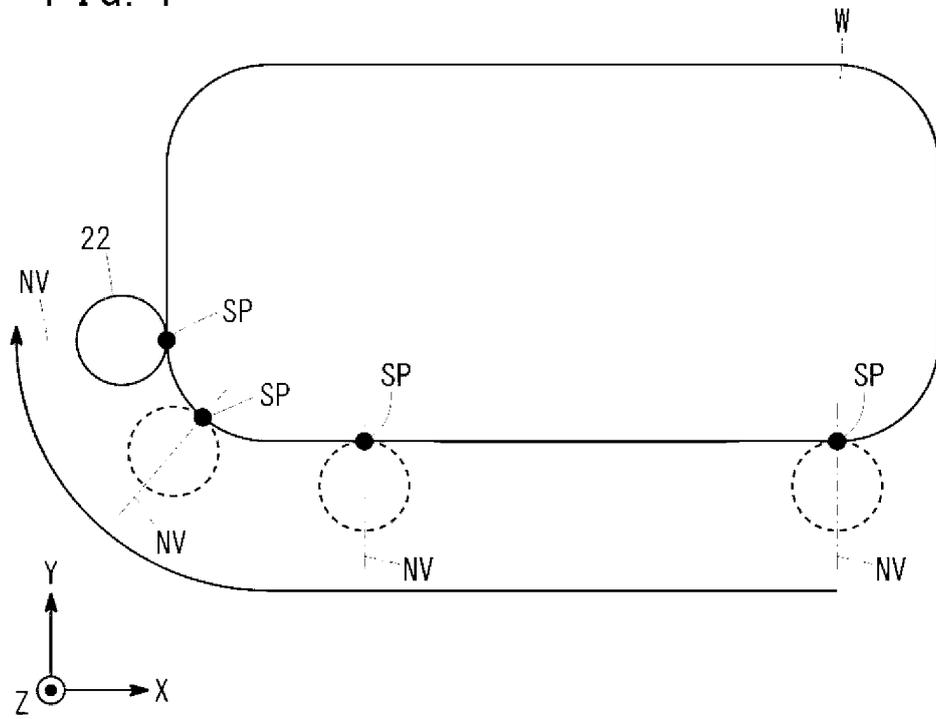


FIG. 5

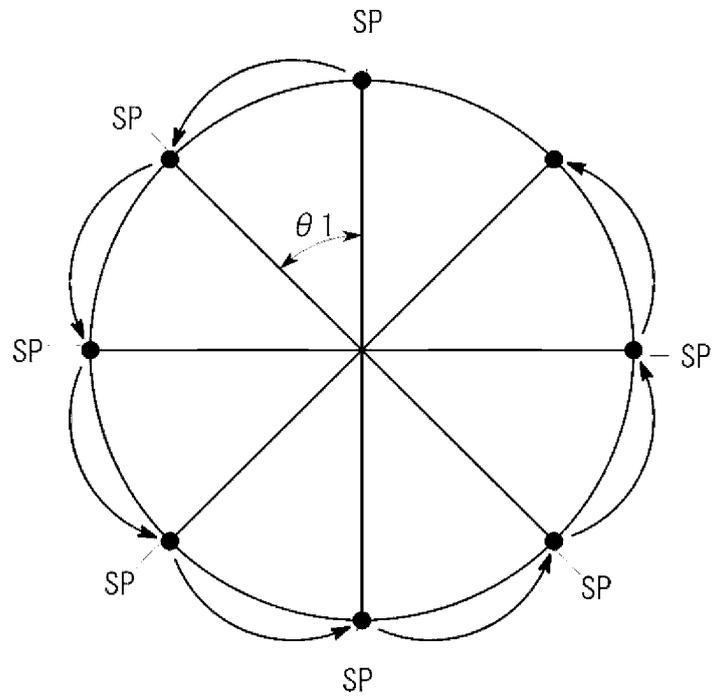


FIG. 6

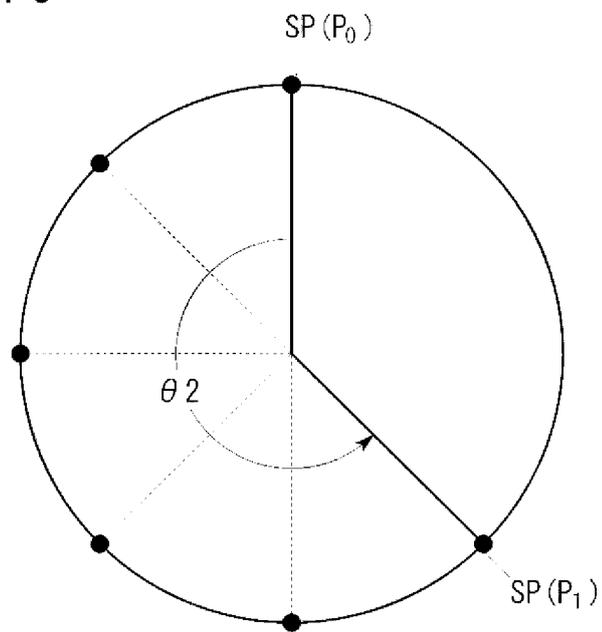


FIG. 7

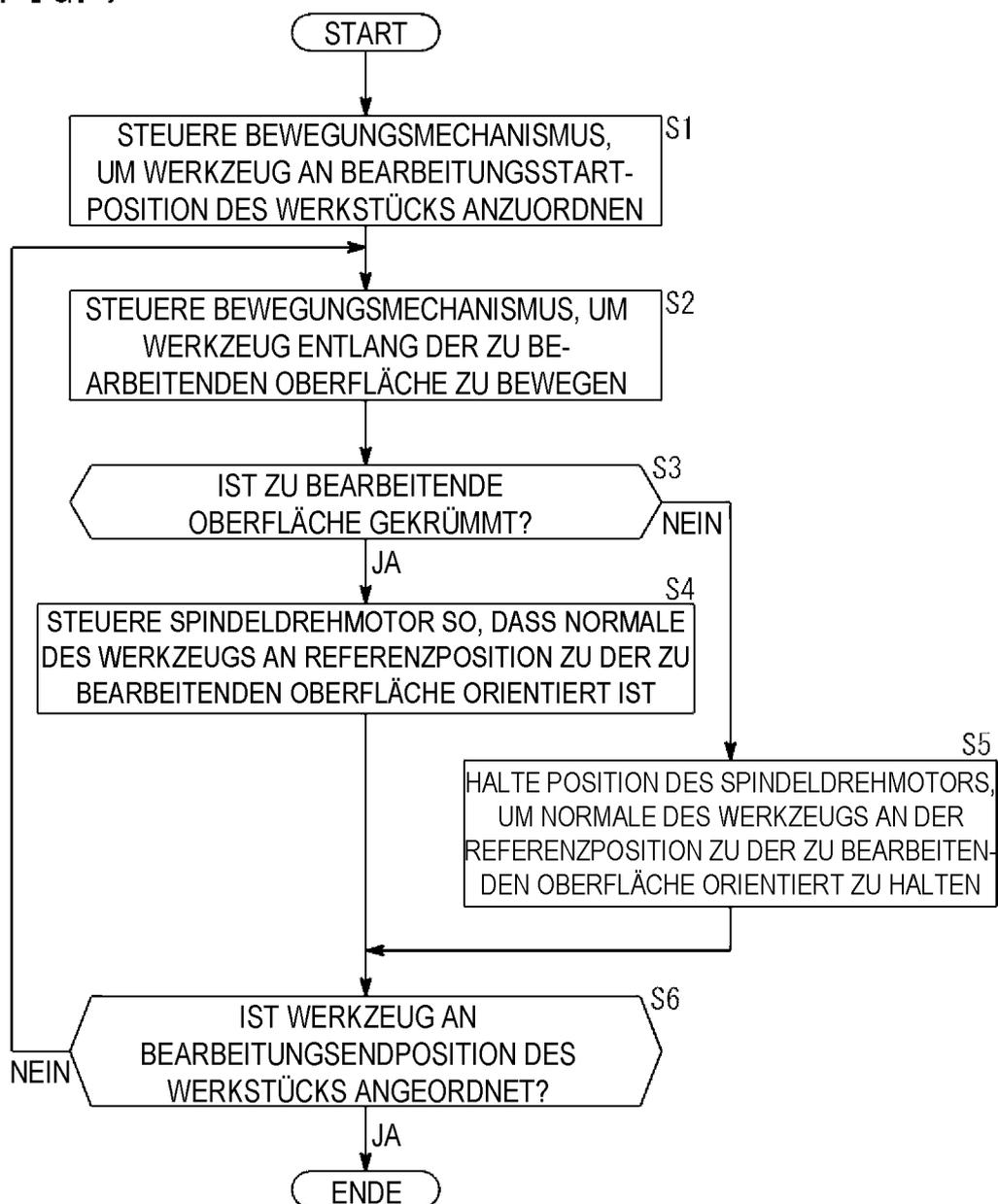


FIG. 8

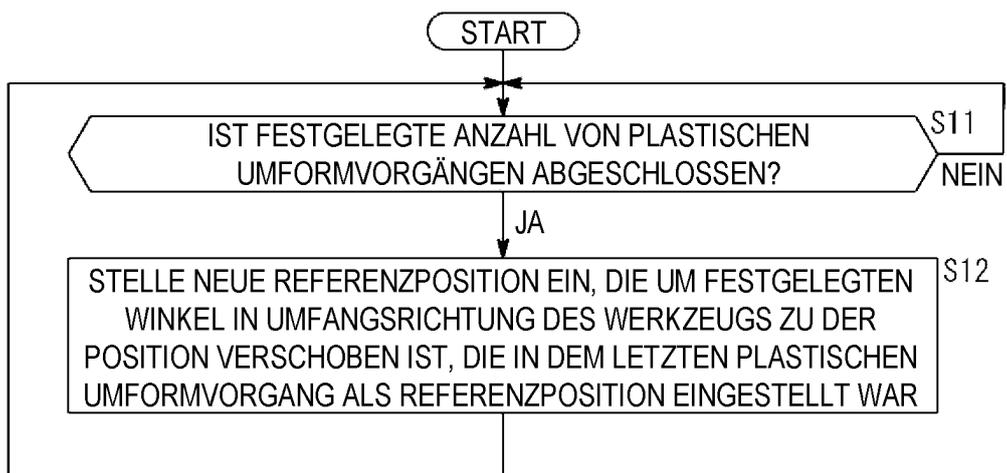


FIG. 9

