



(10) **DE 10 2015 013 283 B4** 2019.01.24

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 013 283.0**
 (22) Anmeldetag: **13.10.2015**
 (43) Offenlegungstag: **21.04.2016**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **24.01.2019**

(51) Int Cl.: **G05B 19/416 (2006.01)**
B23Q 15/007 (2006.01)

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

(30) Unionspriorität:
2014-213002 **17.10.2014** **JP**
2014-266636 **26.12.2014** **JP**

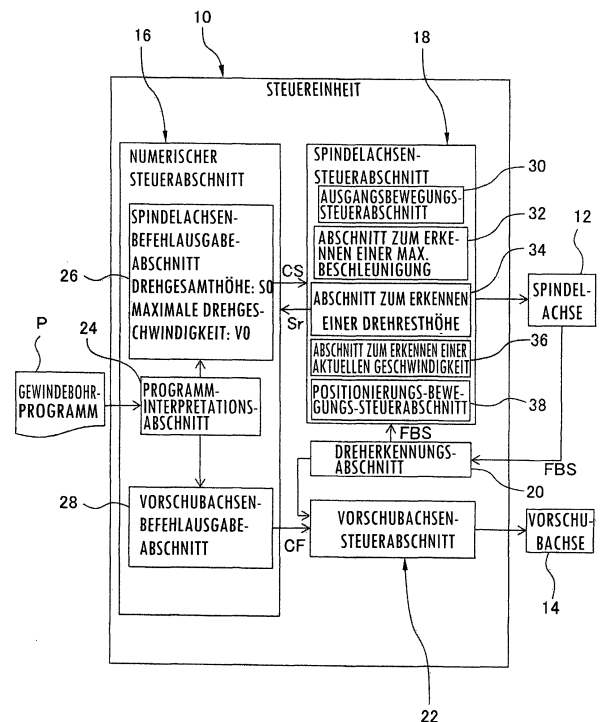
(74) Vertreter:
**Wuesthoff & Wuesthoff, Patentanwälte PartG
 mbB, 81541 München, DE**

(73) Patentinhaber:
**FANUC CORPORATION, Oshino-mura,
 Yamanashi, JP**

(72) Erfinder:
**Morita, Yuuki, Yamanashi, JP; Okita, Tadashi,
 Yamanashi, JP**

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zum Steuern einer Werkzeugmaschine, um einen synchronisierten Betrieb einer Spindelachse und Vorschubachse zu steuern**

(57) Hauptanspruch: Steuereinheit für eine Werkzeugmaschine, die so konfiguriert ist, dass sie einen synchronisierten Betrieb einer Spindelachse (12) und einer Vorschubachse (14) steuert, wobei die Steuereinheit umfasst:
 einen numerischen Steuerabschnitt (16), der so konfiguriert ist, dass er einen Spindelachsenbefehl (CS) und einen Vorschubachsenbefehl (CF) auf Basis eines Gewindebohrprogramms (P) generiert;
 einen Spindelachsensteuerabschnitt (18), der so konfiguriert ist, dass er eine Drehbewegung der Spindelachse (12) gemäß dem Spindelachsenbefehl (CS) steuert;
 einen Dreherkennungsabschnitt (20), der so konfiguriert ist, dass er eine Drehposition (FBS) der Spindelachse (12) erkennt; und
 einen Vorschubachsensteuerabschnitt (22), der so konfiguriert ist, dass er eine Vorschubbewegung der Vorschubachse (14) gemäß dem Vorschubachsenbefehl (CF) auf Basis der Drehposition (FBS) steuert;
 wobei der numerische Steuerabschnitt (16) umfasst:
 einen Spindelachsenbefehlausgabeabschnitt (26), der so konfiguriert ist, dass er vom Gewindebohrprogramm (P) eine Drehgesamthöhe (S0) und eine maximale Drehgeschwindigkeit (V0) der Spindelachse (12) während eines Zeitraums erhält, wenn die Spindelachse von einer Prozessbeginnposition in eine Zielgewindetiefe arbeitet, und dass er die Drehgesamthöhe (S0) und die maximale Drehgeschwindigkeit (V0) als Spindelachsenbefehl (CS) an den Spindelachsensteuerabschnitt (18) sendet;
 wobei der Spindelachsensteuerabschnitt (18) umfasst:
 einen Anfangsbewegungssteuerabschnitt ...



Beschreibung

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zum Steuern einer Werkzeugmaschine, um einen synchronisierten Betrieb einer Spindelachse und einer Vorschubachse zu steuern. Die vorliegende Erfindung bezieht sich außerdem auf ein Verfahren zum Steuern einer Werkzeugmaschine, um einen synchronisierten Betrieb einer Spindelachse und einer Vorschubachse zu steuern.

Beschreibung des verwandten Standes der Technik

[0002] Bei einer Werkzeugmaschine, die in der Lage ist, einen Gewindebohrprozess durch einen synchronisierten Betrieb einer Spindelachse (oder einer Hauptachse) und einer Vorschubachse durchzuführen, wurden diverse Arten von Konfigurationen zum Verbessern der Abarbeitungsgenauigkeit und zum Verringern der Zykluszeit vorgeschlagen. Beispielsweise offenbart das japanische Patent Nr. 2629729 (JP 2 629 729 B2) ein Gewindebildungsgerät, das einen Gewindebohrprozess durch Betreiben einer Vorschubachse durchführt, so dass diese der Drehung einer Spindelachse folgt, wobei ein Vorschubbefehlswert für die Vorschubachse auf Basis der Drehgeschwindigkeit und Drehbeschleunigung der Spindelachse und einer Gewindeteilung berechnet wird, und wobei der Vorschubbefehlswert gemäß der tatsächlichen Drehposition der Spindelachse korrigiert wird, um die Gewindebohrgenauigkeit zu verbessern. Das japanische Patent Nr. 3553741 (JP 3 553 741 B2) offenbart ein Verfahren zum Steuern der Beschleunigung und Entschleunigung eines Spindelmotors, das von einer numerischen Steuereinheit durchgeführt wird, die eine Synchronisationssteuerung einer Spindelachse und einer Vorschubachse für einen Gewindebohrprozess durchführt, wobei die numerische Steuereinheit einen Beschleunigungs- und Entschleunigungsbefehl gemäß den Ausgabecharakteristika der Spindelachse erzeugt und die Spindelachse auf Basis des Beschleunigungs- und Entschleunigungsbefehls steuert, um die Reaktion auf die Spindelachse zu verbessern, so dass die Zykluszeit verringert wird.

KURZFASSUNG DER ERFINDUNG

[0003] Bei einer Werkzeugmaschine, die in der Lage ist, einen Gewindebohrprozess durch einen synchronisierten Betrieb einer Spindelachse und einer Vorschubachse durchzuführen, wird die Zykluszeit im Allgemeinen je nach Beschleunigungskapazität der Spindelachse bestimmt. Es ist wünschenswert, eine Verringerung der Zykluszeit durch Durchführen einer Steuerung zu erzielen, die in der Lage ist, die Be-

schleunigungskapazität der Spindelachse mit einer einfachen Konfiguration zu maximieren, ohne dass eine Vorarbeit durchgeführt wird, die großes Fachwissen erfordert, z. B. Parametereinstellung oder -anpassung usw., die für die numerische Steuereinheit erforderlich ist, um Beschleunigungs- und Entschleunigungsbefehle gemäß den Ausgabecharakteristika der Spindelachse zu erzeugen.

[0004] Ein Aspekt der Erfindung ist eine Steuereinheit einer Werkzeugmaschine, die so konfiguriert ist, dass sie einen synchronisierten Betrieb einer Spindelachse und einer Vorschubachse steuert, wobei die Steuereinheit einen numerischen Steuerabschnitt, der so konfiguriert ist, dass er einen Spindelachsenbefehl und einen Vorschubachsenbefehl auf Basis eines Gewindebohrprogramms erzeugt; einen Spindelachsensteuerabschnitt, der so konfiguriert ist, dass er eine Drehbewegung der Spindelachse gemäß dem Spindelachsenbefehl steuert; einen Dreherkennungsabschnitt, der so konfiguriert ist, dass er eine Drehposition der Spindelachse erkennt; und einen Vorschubachsensteuerabschnitt, der so konfiguriert ist, dass er eine Vorschubbewegung der Vorschubachse gemäß dem Vorschubachsenbefehl auf Basis der Drehbewegung der Spindelachse steuert, enthält. Der numerische Steuerabschnitt enthält einen Spindelachsenbefehlausgabeabschnitt, der so konfiguriert ist, dass er vom Gewindebohrprogramm eine Drehgesamthöhe und eine maximale Drehgeschwindigkeit der Spindelachse während eines Zeitraums erhält, wenn die Spindelachse von einer Prozessbeginnposition in eine Zielgewindetiefe arbeitet, und dass er die Drehgesamthöhe und die maximale Drehgeschwindigkeit als Spindelachsenbefehl an den Spindelachsensteuerabschnitt sendet. Der Spindelachsensteuerabschnitt enthält einen Ausgangsbewegungssteuerabschnitt, der so konfiguriert ist, dass er die Spindelachse veranlasst, eine beschleunigte Drehung bei maximaler Kapazität von der Prozessbeginnposition hin zur Zielgewindetiefe bei maximaler Drehgeschwindigkeit durchzuführen, die als Zielwert festgelegt ist; einen Abschnitt zum Erkennen einer maximalen Beschleunigung, der so konfiguriert ist, dass er eine maximale Beschleunigung während der beschleunigten Drehung bei maximaler Kapazität auf Basis der Drehposition erkennt; einen Abschnitt zum Erkennen einer Drehresthöhe, der so konfiguriert ist, dass er eine Drehresthöhe der Spindelachse während eines Zeitraums, wenn die Spindelachse von einer aktuellen Position zur Zielgewindetiefe arbeitet, auf Basis der Drehgesamthöhe und der Drehposition der Spindelachse erkennt; einen Abschnitt zum Erkennen einer aktuellen Geschwindigkeit, der so konfiguriert ist, dass er eine aktuelle Geschwindigkeit der Spindelachse auf Basis der Drehposition der Spindelachse erkennt; und einen Positionierungssteuerabschnitt, der so konfiguriert ist, dass er die Spindelachse veranlasst, eine entschleunigte Drehung bei maximaler Kapazität, um die Zielgewin-

detiefe zu erreichen, nach der beschleunigten Drehung bei maximaler Kapazität auf Basis der maximalen Beschleunigung, der Drehresthöhe und der aktuellen Geschwindigkeit durchzuführen.

[0005] Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist ein Verfahren zum Steuern einer Werkzeugmaschine, die so konfiguriert ist, dass sie einen synchronisierten Betrieb einer Spindelachse und einer Vorschubachse steuert, wobei das Verfahren die von einer Steuereinheit durchgeführten Aktionen des Erhaltens einer Drehgesamthöhe und einer maximalen Drehgeschwindigkeit der Spindelachse während eines Zeitraums, wenn die Spindelachse von einer Prozessbeginnposition in eine Zielgewindetiefe arbeitet, von einem Gewindebohrprogramm; des Veranlassens der Spindelachse, eine beschleunigte Drehung bei maximaler Kapazität von der Prozessbeginnposition hin zur Zielgewindetiefe durchzuführen, wobei die maximale Drehgeschwindigkeit als Zielwert festgelegt ist; des Erkennens einer maximalen Beschleunigung während der beschleunigten Drehung bei maximaler Kapazität auf Basis eines Drehpositionsfeedbacks der Spindelachse; des Erkennens einer Drehresthöhe der Spindelachse während eines Zeitraums, wenn die Spindelachse von einer aktuellen Position zur Zielgewindetiefe arbeitet, auf Basis der Drehgesamthöhe und des Drehpositionsfeedbacks; des Erkennens einer aktuellen Geschwindigkeit der Spindelachse auf Basis des Drehpositionsfeedbacks; und des Veranlassens der Spindelachse, eine entschleunigte Drehung bei maximaler Kapazität, um die Zielgewindetiefe zu erreichen, nach der beschleunigten Drehung bei maximaler Kapazität auf Basis der maximalen Beschleunigung, der Drehresthöhe und der aktuellen Geschwindigkeit durchzuführen, umfasst.

[0006] Die Steuereinheit gemäß einem Aspekt ist so konfiguriert, dass, wenn die Spindelachse veranlasst wird, eine Schneidbewegung von der Prozessbeginnposition zur Zielgewindetiefe durchzuführen, der numerische Steuerabschnitt nur die Drehgesamthöhe und die maximale Drehgeschwindigkeit der Spindelachse als Spindelachsenbefehl an den Spindelachsensteuerabschnitt anweist; der Spindelachsensteuerabschnitt die Schneidbewegung gemäß dem Spindelachsenbefehl durch Beschleunigen der Spindelachse bei maximaler Leistung unter Verwendung eines maximal zulässigen Stroms unter Abzielen auf die maximale Drehgeschwindigkeit durchführt und auf Basis der maximalen Beschleunigung während des Beschleunigungsschritts und der sukzessive erkannten Drehresthöhe und aktuellen Geschwindigkeit der Spindelachse die Schneidbewegung kontinuierlich bis zur Zielgewindetiefe in der kürzesten Zeit durch Entschleunigen der Spindelachse bei maximaler Entschleunigung durchführt, um zu bewirken, dass die Spindelachse die Zielgewindetiefe erreicht. Demgemäß ist es nicht mehr erforderlich, eine Parametereinstellung oder -anpassung usw. vorzuneh-

men, die für den numerischen Steuerabschnitt erforderlich ist, um Beschleunigungs- und Entschleunigungsbefehle gemäß den Ausgabecharakteristika der Spindelachse zu erzeugen, und ist es möglich, die Zykluszeit eines Gewindebohrprozesses mit einer einfachen Konfiguration durch Durchführen einer Beschleunigungs- und Entschleunigungssteuerung zu verringern, die die Beschleunigungskapazität der Spindelachse maximieren kann.

[0007] Bei dem Steuerverfahren gemäß dem anderen Aspekt können Effekte erzielt werden, die den durch die oben beschriebene Steuereinheit erreichten entsprechen.

Figurenliste

[0008] Die Ziele, Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung gehen aus der folgenden Beschreibung der Ausführungsformen in Verbindung mit den beiliegenden Zeichnungen besser hervor, in denen:

Fig. 1 ein Funktionsblockschaubild ist, das eine Konfiguration einer Ausführungsform einer Werkzeugmaschinensteuereinheit zeigt;

Fig. 2 ein Ablaufplan ist, der ein Schneidbewegungssteuerungsverfahren für einen Gewindebohrprozess zeigt, das eine Ausführungsform eines Werkzeugmaschinensteuerungsverfahrens ist;

Fig. 3 ein Schaubild ist, das ein Beispiel für die Bewegung einer Spindelachse bei der in **Fig. 2** gezeigten Ausführungsform zeigt;

Fig. 4 ein Schaubild ist, das ein weiteres Beispiel für die Bewegung der Spindelachse bei der in **Fig. 2** gezeigten Ausführungsform zeigt;

Fig. 5 ein Schaubild ist, das ein noch weiteres Beispiel für die Bewegung der Spindelachse bei der in **Fig. 2** gezeigten Ausführungsform zeigt;

Fig. 6 ein Schaubild ist, das ein weiteres Beispiel für die Bewegung der Spindelachse bei der in **Fig. 2** gezeigten Ausführungsform zeigt;

Fig. 7 ein Ablaufplan ist, der ein Rückwärtsbewegungssteuerungsverfahren für einen Gewindebohrprozess zeigt, das eine Ausführungsform eines Werkzeugmaschinensteuerungsverfahrens ist;

Fig. 8 ein Funktionsblockschaubild ist, das die Konfiguration eines modifizierten Beispiels der Steuereinheit von **Fig. 1** zeigt;

Fig. 9 ein Funktionsblockschaubild ist, das die Konfiguration eines weiteren modifizierten Beispiels der Steuereinheit von **Fig. 1** zeigt;

Fig. 10 ein Ablaufplan ist, der ein Schneid- und Rückwärtsbewegungssteuerungsverfahren für einen Gewindebohrprozess zeigt, das eine weitere Ausführungsform eines Werkzeugmaschinensteuerungsverfahrens ist;

Fig. 11 ein Schaubild ist, das ein Beispiel für die Bewegung der Spindelachse bei der in **Fig. 10** gezeigten Ausführungsform zeigt; und

Fig. 12 ein Schaubild ist, das ein weiteres Beispiel für die Bewegung der Spindelachse bei der in **Fig. 10** gezeigten Ausführungsform zeigt.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0009] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden nachstehend unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen beschrieben. In den gesamten Zeichnungen sind entsprechende Komponenten durch gemeinsame Bezugszeichen ausgewiesen.

[0010] **Fig. 1** ist ein Funktionsschaubild, das eine Konfiguration einer Werkzeugmaschinensteuerungseinheit **10** gemäß einer Ausführungsform zeigt. Die Steuerungseinheit **10** steuert einen synchronisierten Betrieb in einer Werkzeugmaschine (z. B. Drehbank, Bohrmaschine, Bearbeitungszentrum und dergleichen) zum Durchführen eines Gewindebohrprozesses durch den synchronisierten Betrieb einer Spindelachse **12** und einer Vorschubachse **14**, so dass die Vorschubachse **14** so betrieben wird, dass sie der Drehbewegung der Spindelachse **12** unter Berücksichtigung der Gewindesteigung folgt, die von einem Gewindebohrprogramm **P** ausgewiesen wird. Auch wenn dies nicht veranschaulicht ist, ist die Spindelachse **12** eine Steuerachse, die für eine Antriebseinheit bereitgestellt ist, z. B. einen Spindelmotor, die eine Spanneinheit, die ein Werkstück oder ein Werkzeug hält, in einer für die Bearbeitung erforderlichen Geschwindigkeit dreht. Auch wenn dies nicht veranschaulicht ist, ist die Vorschubachse **14** eine Steuerachse, die für eine Antriebseinheit bereitgestellt ist, z. B. einen Servomotor, die eine Trägereinheit, die ein Werkstück oder ein Werkzeug trägt, in einer für die Bearbeitung erforderlichen Geschwindigkeit speist. Bei einer Drehbank beispielsweise kann das Werkzeug in Bezug auf das Werkstück, das auf der Spindelachse **12** gedreht wird, linear entlang der Vorschubachse **14** bewegt werden oder kann das Werkstück, das von der Spindelachse **12** gedreht wird, in Bezug auf das Werkzeug linear entlang der Vorschubachse bewegt werden. Bei einer Bohrmaschine kann das Drehwerkzeug auf der Spindelachse **12** in Bezug auf das Werkstück linear entlang der Vorschubachse **14** bewegt werden oder kann das Werkstück in Bezug auf das Drehwerkzeug auf der Spindelachse **12** linear entlang der Vorschubachse **14** bewegt werden. Jedenfalls wird die Vorschubachse **14**, die während des Betriebs einen relativ großen Beschleunigungs- und Entschleunigungsdrehmomentenspielraum hat, so bewegt, dass sie der Spindelachse **12** folgt, die während des Betriebs einen relativ geringen Beschleunigungs- und Entschleunigungsdrehmomentenspielraum hat, wodurch möglich wird, Synchronisationsfehler zu verringern und die Bearbei-

tungsgenauigkeit zu verbessern. Es sei angemerkt, dass die Konfiguration der Werkzeugmaschine bei der vorliegenden Erfindung keinen besonderen Beschränkungen unterliegt.

[0011] Die Steuerungseinheit **10** enthält einen numerischen Steuerabschnitt **16**, der so konfiguriert ist, dass er einen Spindelachsenbefehl **CS** und einen Vorschubachsenbefehl auf Basis eines Gewindebohrprogramms **P** erzeugt; einen Spindelachsensteuerabschnitt **18**, der so konfiguriert ist, dass er eine Drehbewegung der Spindelachse **12** gemäß dem Spindelachsenbefehl **CS** steuert; einen Dreherkennungsabschnitt **20**, der so konfiguriert ist, dass er eine Drehposition der Spindelachse **12** erkennt; und einen Vorschubachsensteuerabschnitt **22**, der so konfiguriert ist, dass er eine Vorschubbewegung der Vorschubachse **14** gemäß dem Vorschubachsenbefehl **CF** auf Basis der von Dreherkennungsabschnitt **20** erkannten Drehbewegung steuert. Der numerische Steuerabschnitt **16** enthält einen Programminterpretationsabschnitt **24**, der so konfiguriert ist, dass er das Gewindebohrprogramm **P** interpretiert; einen Spindelachsenbefehlsausgabeabschnitt **26**, der so konfiguriert ist, dass er einen Spindelachsenbefehl **CS** gemäß der Interpretation des Programminterpretationsabschnitts **24** erzeugt und den Spindelachsenbefehl **CS** an den Spindelachsensteuerabschnitt **18** sendet; und einen Vorschubachsenbefehlsausgabeabschnitt **28**, der so konfiguriert ist, dass er einen Vorschubachsenbefehl **CF** gemäß der Interpretation des Programminterpretationsabschnitts **24** erzeugt und den Vorschubachsenbefehl **CF** an den Vorschubachsensteuerabschnitt **22** sendet. Der numerische Steuerabschnitt **16** kann eine hinlänglich bekannte Hardwarekonfiguration für CNC-Geräte enthalten.

[0012] Vor Beginn eines Gewindebohrprozesses erhält der Spindelachsenbefehlsausgabeabschnitt **26** aus einem ausgewiesenen Wert, der vom Programminterpretationsabschnitt **24** interpretiert wird, vom Gewindebohrprogramm **P** eine Drehgesamthöhe **S0** und eine maximale Drehgeschwindigkeit **V0** der Spindelachse **12** während eines Zeitraums, wenn die Spindelachse von einer Prozessbeginnposition (Drehposition) in eine Zielgewindetiefe (Drehposition) arbeitet, und sendet die Drehgesamthöhe **S0** und die maximale Drehgeschwindigkeit **V0** als Spindelachsenbefehl **CS** an den Spindelachsensteuerabschnitt **18**. Beispielsweise wenn das Gewindebohrprogramm **P** Anweisungen zum Bearbeiten eines Innengewindes mit einer Gewindesteigung von 1,25 mm und einer Gewindetiefe von 30 mm mit der maximalen Drehgeschwindigkeit **V0** der Spindelachse **12** enthält, die auf 3000/min festgelegt ist, wird die Drehgesamthöhe **S0** der Spindelachse **12** von der Prozessbeginnposition zur Zielgewindetiefe mit $30:1,5 = 24$ (Umdr.) berechnet. Demgemäß gibt der Spindelachsenbefehlsausgabeabschnitt **26** den Spindelachsensteuerabschnitt **18** über $V0 = 3000 \text{ (min}^{-1}\text{)}$ und $S0 = 24$

(Umdr.) bekannt. Auf diese Weise enthält der Spindelachsenbefehl CS keinen Positionsbefehl und keinen Beschleunigungs- und Entschleunigungsbefehl, um die Spindelachse **12** zu veranlassen, sich zur Zielgewindetiefe zu drehen.

[0013] Der Spindelachsensteuerabschnitt **18** steuert die Drehbewegung der Spindelachse **12** durch gewöhnliche Feedbacksteuerung auf Basis einer Drehposition (ein Feedbackwert; im Folgenden als Drehposition FBS bezeichnet) der Spindelachse **12**, die vom Dreherkennungsabschnitt **20** erkannt wird. Der Vorschubachsensteuerabschnitt **22** steuert die Vorschubbewegung der Vorschubachse **14**, die der Bewegung der Spindelachse **12** folgt, durch Feedbacksteuerung unter Verwendung der Drehposition FBS der Spindelachse **12** zusätzlich zum Feedbackwert der Vorschubposition der Vorschubachse **14**. Der Dreherkennungsabschnitt **20** kann die Drehposition FBS von einer Positionserkennungseinheit (nicht gezeigt) wie z. B. einem Codierer oder dergleichen erhalten, um die Betriebsposition der Antriebseinheit der Spindelachse **12** zu erkennen.

[0014] Der Spindelachsensteuerabschnitt **18** enthält einen Ausgangsbewegungssteuerabschnitt **30**, der so konfiguriert ist, dass er die Spindelachse **12** veranlasst, eine beschleunigte Drehung bei maximaler Kapazität von der Prozessbeginnposition hin zur Zielgewindetiefe bei maximaler Drehgeschwindigkeit **V0** (mini) durchzuführen, die vom Spindelachsenbefehlausgabeabschnitt **26** gesendet wird und als Zielwert festgelegt ist; einen Abschnitt **32** zum Erkennen einer maximalen Beschleunigung, der so konfiguriert ist, dass er eine maximale Beschleunigung **A0** (min^{-1}/s) während der beschleunigten Drehung bei maximaler Kapazität auf Basis der Drehposition FBS erkennt; einen Abschnitt **34** zum Erkennen einer Drehresthöhe, der so konfiguriert ist, dass er eine Drehresthöhe S_r (Umdr.) der Spindelachse **12** während eines Zeitraums, wenn die Spindelachse von einer aktuellen Position (Drehposition) zur Zielgewindetiefe arbeitet, auf Basis der Drehgesamthöhe **S0** (Umdr.), die vom Spindelachsenbefehlausgabeabschnitt **26** gesendet wird, und der Drehposition FBS erkennt; einen Abschnitt **36** zum Erkennen einer aktuellen Geschwindigkeit, der so konfiguriert ist, dass er eine aktuelle Geschwindigkeit V_c (min^{-1}) der Spindelachse **12** auf Basis der Drehposition FBS erkennt; und einen Positionierungsbewegungssteuerabschnitt **38**, der so konfiguriert ist, dass er die Spindelachse **12** veranlasst, eine entschleunigte Drehung bei maximaler Kapazität, um die Zielgewindetiefe zu erreichen, nach der beschleunigten Drehung bei maximaler Kapazität auf Basis der maximalen Beschleunigung **A0**, der Drehresthöhe S_r und der aktuellen Geschwindigkeit V_c durchzuführen. Bei einer Ausführungsform kann der Positionierungsbewegungssteuerabschnitt **38** so konfiguriert sein, dass er die Spindelachse **12** veranlasst, eine entschleunigte Bewegung bei maximaler

Kapazität durchzuführen und in der Zieltiefe zu stoppen.

[0015] Fig. 2 zeigt ein Schneidbewegungssteuerungsverfahren für die Spindelachse **12** in einem Gewindebohrprozess als eine Ausführungsform eines Werkzeugmaschinensteuerungsverfahrens, das von der Steuereinheit **10** durchgeführt wird. Die Details der Konfiguration der Steuereinheit **10** sind nachstehend unter Bezugnahme auf den in Fig. 2 gezeigten Gewindebohrsteuerablauf ausführlich beschrieben. Zunächst weist der numerische Steuerabschnitt **16** (Spindelachsenbefehlausgabeabschnitt **26**) in Schritt **S1** die Drehgesamthöhe **S0** und die maximale Drehgeschwindigkeit **V0** der Spindelachse **12** an den Spindelachsensteuerabschnitt **18** an. In Schritt **S2** beschleunigt der Spindelachsensteuerabschnitt **18** (Ausgangsbewegungssteuerabschnitt **30**, Abschnitt **32** zum Erkennen einer maximalen Beschleunigung, Abschnitt **34** zum Erkennen einer Drehresthöhe) eine Drehung der Spindelachse **12** unter Abzielen auf die maximale Drehgeschwindigkeit **V0** als Zielgeschwindigkeit mit der maximalen Kapazität unter Verwendung des maximal zulässigen Stroms der Antriebsquelle, um ein Gewindebohren von der Prozessbeginnposition durchzuführen, und erkennt die maximale Beschleunigung **A0** während dieses Zeitraums und erkennt außerdem sukzessive die Drehresthöhe S_r in der aktuellen Position. Die erkannte Drehresthöhe S_r wird dem numerischen Steuerabschnitt **16** durch den Spindelachsensteuerabschnitt **18** mitgeteilt, und zwar jedes Mal, wenn diese erkannt wird.

[0016] Danach erkennt der Spindelachsensteuerabschnitt **18** (Abschnitt **36** zum Erkennen einer aktuellen Geschwindigkeit) in Schritt **S3** sukzessive die aktuelle Geschwindigkeit V_c während der beschleunigten Drehung bei maximaler Kapazität und beurteilt, ob die aktuelle Geschwindigkeit V_c die maximale Drehgeschwindigkeit **V0** erreicht hat, und zwar jedes Mal, wenn diese erkannt wird. Wenn die V_c die **V0** noch nicht erreicht hat, beurteilt der Spindelachsensteuerabschnitt **18** in Schritt **S4**, ob die Drehresthöhe S_r der Hälfte der Drehgesamthöhe **S0** entspricht oder geringer als diese ist. Wenn S_r der Hälfte von **S0** entspricht oder geringer als diese ist, veranlasst der Spindelachsensteuerabschnitt **18** in Schritt **S4** die Spindelachse **12**, eine entschleunigte Drehung bei maximaler Kapazität unter Verwendung des maximal zulässigen Stroms der Antriebsquelle durchzuführen, um das Gewindebohren fortzusetzen. Wenn S_r nicht der Hälfte von **S0** entspricht oder nicht geringer als diese ist, kehrt die Steuerung zu Schritt **S3** zurück.

[0017] Es wird nun auf Fig. 3 Bezug genommen, wobei eine Geschwindigkeit-Zeit-Kurve bereitgestellt ist, um die Bewegung der Spindelachse **12** darzustellen, wenn die Drehresthöhe S_r die Hälfte der Drehgesamthöhe **S0** erreicht, bevor die aktuelle Geschwindigkeit V_c die maximale Drehgeschwindigkeit **V0** er-

reicht hat (wenn die Beurteilungen in Schritt **S3** und **S4** jeweils JA sind).

[0018] In **Fig. 3** wird V_b zuvor für die Spindelachse **12** als Drehgeschwindigkeit (z. B. Grundgeschwindigkeit des Spindelmotors) bestimmt, auf die die Spindelachse vom Beginn des Betriebs mit einem festen Drehmoment beschleunigt werden kann (daher mit einer konstanten Beschleunigung), und kann als einer von Steuerparametern in einem nicht veranschaulichten Speicher der Steuereinheit **10** gespeichert werden. In der Praxis kann die Geschwindigkeit V_b einen beliebigen Wert annehmen, der der Grundgeschwindigkeit des Spindelmotors entspricht oder geringer als diese ist (eine Geschwindigkeit, die unter Berücksichtigung eines ggf. vorhandenen Reduktionsverhältnisses zwischen dem Spindelmotor und der Spindelachse **12** umgewandelt wird).

[0019] Die beschleunigte Drehung der Spindelachse **12** bei maximaler Kapazität in Schritt **S2** wird während Zeiträumen **T1** und **T2** in **Fig. 3** durchgeführt und die maximale Beschleunigung A_0 wird während der konstanten Beschleunigung des Zeitraums **T1** erkannt. Wenn die Drehgeschwindigkeit der Spindelachse **12** V_b übersteigt, nimmt die Beschleunigung der Spindelachse **12** schrittweise von der maximalen Beschleunigung A_0 ist, z. B. aufgrund der Charakteristika des Spindelmotors. An einem Punkt **A** (wenn die Beurteilung in Schritt **S4** Ja ist), wenn die Drehresthöhe S_r die Hälfte der Drehgesamthöhe S_0 erreicht hat (anders ausgedrückt, wenn die Drehhöhe vom Prozessbeginn die Hälfte der Drehgesamthöhe S_0 erreicht hat), ändert sich die Bewegung der Spindelachse **12** von einer beschleunigten Drehung zu einer entschleunigten Drehung und die Spindelachse **12** wird bei maximaler Kapazität in Schritt **S5** während eines Zeitraums **T3** entschleunigt. Im Zeitraum **T3** wird die Drehung der Spindelachse **12** hin zur Geschwindigkeit V_b als Zielwert von Punkt **A** entschleunigt. Während dieses Zeitraums wird die Entschleunigung der Spindelachse **12** schrittweise erhöht, z. B. aufgrund der Charakteristika des Spindelmotors. Während des Zeitraums der entschleunigten Drehung bei maximaler Kapazität erkennt außerdem der Spindelachsensteuerabschnitt **18** (Abschnitt **34** zum Erkennen einer Drehresthöhe, Abschnitt **36** zum Erkennen einer aktuellen Geschwindigkeit) sukzessive die Drehresthöhe S_r in der aktuellen Position der Spindelachse **12** und die aktuelle Geschwindigkeit V_c . Auf diese Weise führt der Spindelachsensteuerabschnitt **18** während der Zeiträume **T1** bis **T3** eine Geschwindigkeitssteuerung der Spindelachse **12** durch (schrittweise Geschwindigkeitsanweisungen sind durch die strichlierte Linie veranschaulicht).

[0020] Nach Schritt **S5** überwacht der Spindelachsensteuerabschnitt **18** (Positionierungsbewegungssteuerabschnitt **38**) die sukzessiv erkannte Drehrest-

höhe S_r (Umdr.) und die aktuelle Geschwindigkeit V_c (min^{-1}) und bestimmt die Position eines Punkts **B** (**Fig. 3**, an dem die Drehresthöhe S_r Erwartungen zufolge zu 0 wird (oder die Spindelachse die Zielgewindetiefe erreicht), wenn die Spindelachse von der aktuellen Geschwindigkeit V_c (min^{-1}) bei maximaler Entschleunigung A_0 (negativer Wert) entschleunigt wird, die der maximalen Beschleunigung A_0 (min^{-1}/s) entspricht. Diese Position kann als absoluter Wert der Drehresthöhe S_r (negativer Wert) von Punkt von $S_r = 0$ bestimmt werden, und zwar mit der folgenden Gleichung:

$$|S_r| = V_c^2 / |A_0| / 120;$$

auf Basis der Formel: $(V_c / 60)^2 = 2 \times |A_0| / 60 \times |S_r|$.

[0021] Bei dieser Ausführungsform wird davon ausgegangen, dass die Spindelachse **12** mit der fixen maximalen Entschleunigung A_0 von Punkt **B** entschleunigt wird. Demgemäß wird davon ausgegangen, dass die aktuelle Geschwindigkeit V_c der Spindelachse **12** V_b an Punkt **B** erreicht hat. Anders ausgedrückt kann $|S_r|$ oder die Position von Punkt **B** wie folgt bestimmt werden:

$$|S_r| = V_b^2 / |A_0| / 120.$$

[0022] Es wird bei dieser Ausführungsform außerdem davon ausgegangen, dass das für eine Beschleunigung der Spindelachse **12** erforderliche Drehmoment (im Folgenden als Beschleunigungsdrehmoment bezeichnet) und das für eine Entschleunigung erforderliche Drehmoment (im Folgenden als Entschleunigungsdrehmoment bezeichnet) gleich sind. Im Allgemeinen erhöht sich die einer Mechanismusstruktur zugeschriebene Last (Widerstand) mit drehender Spindelachse **12**, so dass für eine Beschleunigung ein größeres Drehmoment als für eine Entschleunigung erforderlich ist. Wenn das Beschleunigungsdrehmoment dem Entschleunigungsdrehmoment gleicht, dauert es daher bei einer Beschleunigung mit maximaler Kapazität länger als bei einer Entschleunigung mit maximaler Kapazität, wenn die gleichen Geschwindigkeitsänderungen vorgenommen werden müssen. Demgemäß erreicht die Spindelachse **12**, die von Punkt **A** entschleunigt wird, die Geschwindigkeit V_b schneller als während eines Zeitraums **T2**. Die Position $|S_r|$ an diesem Punkt ist $|S_r| > V_c^2 / |A_0| / 120$. Danach wird die Spindelachse für eine sehr kurze Zeit mit der fixen Geschwindigkeit gedreht, so dass sie Punkt **B** von $|S_r| = V_b^2 / |A_0| / 120$ (**Fig. 3**) erreicht.

[0023] Unter erneuter Bezugnahme auf **Fig. 2** beurteilt der Spindelachsensteuerabschnitt **18** (Positionierungsbewegungssteuerabschnitt **38**) in Schritt **S6**, ob der absolute Wert $|S_r|$ der Drehresthöhe in der aktuel-

len Position der Spindelachse **12** $|Sr| = Vb^2 / |A0| / 120$ erfüllt (d. h., ob die Drehposition der Spindelachse **12** Punkt **B** erreicht hat). Wenn $|Sr| = Vb^2 / |A0| / 120$ erfüllt ist, erzeugt der Spindelachsensteuerabschnitt **18** (Positionierungsbewegungssteuerabschnitt **38**) in Schritt **S7** einen Befehl (bei einer Ausführungsform einen Befehl zum Stoppen der Spindelachse in der Zielgewindetiefe) für eine Entschleunigungsdrehung der Spindelachse **12** bei maximaler Entschleunigung **A0**, um zu bewirken, dass die Spindelachse den Punkt $Sr = 0$ (die Zielgewindetiefe) erreicht. Wenn $|Sr| = Vb^2 / |A0| / 120$ nicht erfüllt ist, wird die gleiche Beurteilung wiederholt, bis diese Gleichung erfüllt ist. Die Spindelachse **12** führt gemäß dem Befehl vom Spindelachsensteuerabschnitt **18** (Positionierungsbewegungssteuerabschnitt **38**) ein Gewindebohren von Punkt **B** hin zur Zielgewindetiefe als Entschleunigung der Drehung bei maximaler Entschleunigung **A0** durch und erreicht die Zielgewindetiefe, wenn $Sr = 0$ wird (bei einer Ausführungsform wird die Spindelachse in der Zielgewindetiefe gestoppt). Auf diese Weise führt der Spindelachsensteuerabschnitt **18** während eines Zeitraums **T4** (Fig. 3) von Punkt B, bis die Spindelachse die Zielgewindetiefe erreicht hat, eine Positionssteuerung an der Spindelachse **12** durch (der Geschwindigkeitsbefehl bei konstanter Beschleunigung ist durch die strichlierte Linie gezeigt).

[0024] Wenn die aktuelle Geschwindigkeit **Vc** in Schritt **S3** als die maximale Drehgeschwindigkeit **V0** erreicht habend beurteilt wird, speichert der Spindelachsensteuerabschnitt **18** in Schritt **S8** die Drehhöhe (d. h. die Drehposition FBS) der Spindelachse **12** von der Prozessbeginnposition, bis die Spindelachse die maximale Drehgeschwindigkeit **V0** erreicht hat, als Beschleunigungsdrehhöhe **Sa**. Danach beurteilt der Spindelachsensteuerabschnitt **18** in Schritt **S9**, ob die Drehresthöhe **Sr** der Beschleunigungsdrehhöhe **Sa** entspricht oder geringer als diese ist. Wenn **Sr** der **Sa** entspricht oder geringer als diese ist, geht die Steuerung zu Schritt **S5** über und führt danach Schritt **S6** und **S7** aus, um eine Bearbeitung bis hin zur Zielgewindetiefe durchzuführen. Wenn **Sr** größer als **Sa** ist, wird die Beurteilung wiederholt, bis **Sr** der **Sa** entspricht oder geringer als diese ist.

[0025] Während der Spindelachsensteuerabschnitt **18** die Drehbewegung der Spindelachse **12** von der Prozessbeginnposition zur Zielgewindetiefe steuert, steuert der Vorschubachsensteuerabschnitt **22** eine Vorschubbewegung der Vorschubachse **14**, so dass diese der Bewegung der Spindelachse **12** folgt, auf Basis der Drehposition FBS der Spindelachse **12**. Während der Spindelachsensteuerabschnitt **18** den Prozess von Schritt **S1** bis Schritt **S9** durchführt, überwacht der numerische Steuerabschnitt **16** die Drehresthöhe **Sr**, die vom Spindelachsensteuerabschnitt **18** bekanntgegeben wird, und bestimmt, dass der Gewindebohrprozess die Zielgewindetiefe

erreicht hat, wenn die Drehresthöhe **Sr** einem ersten vordefinierten Wert (einem sehr kleinen Wert nahe null) entspricht oder geringer als dieser ist.

[0026] Fig. 4 zeigt eine Geschwindigkeit-Zeit-Kurve der Bewegung der Spindelachse **12**, wenn die aktuelle Geschwindigkeit **Vc** die maximale Drehgeschwindigkeit **V0** erreicht hat, bevor die Drehresthöhe **Sr** die Hälfte der Drehgesamthöhe **S0** erreicht hat (wenn die Beurteilung in Schritt **S3** Nein ist). Wie in Fig. 4 gezeigt, wird die beschleunigte Drehung der Spindelachse **12** bei maximaler Kapazität in Schritt **S2** in Zeiträumen **T1** und **T2** durchgeführt, so dass die aktuelle Geschwindigkeit **Vc** der Spindelachse **12** die maximale Drehgeschwindigkeit **V0** erreicht. Danach dreht sich die Spindelachse **12** mit der festen Geschwindigkeit **V0** über einen Zeitraum **T5**, um das Gewindebohren fortzusetzen. Zum Zeitpunkt **A**, wenn die Drehresthöhe **Sr** der Beschleunigungsdrehhöhe **Sa** entspricht (der Zeitpunkt, wenn die Beurteilung in **S9** JA ist), ändert sich die Bewegung der Spindelachse **12** von einer beschleunigten Drehung zu einer entschleunigten Drehung und wird die Spindelachse **12** bei maximaler Kapazität in Schritt **S5** während eines Zeitraums **T3** entschleunigt. Während eines Zeitraums **T4** wird eine Positionssteuerung an der Spindelachse **12** in Schritt **S7** durchgeführt. Während der Zeiträume **T1**, **T2**, **T3** und **T4** arbeitet die Spindelachse **12** auf die wie in Fig. 3 gezeigte Weise.

[0027] In den Konfigurationen, die in den Fig. 3 und Fig. 4 gezeigt sind, wird davon ausgegangen, dass die maximale Drehgeschwindigkeit **V0** der Spindelachse **12** höher als die zuvor bestimmte Geschwindigkeit **Vb** (z. B. die Grundgeschwindigkeit der Spindelachse) ist. Im Gegensatz dazu kann die maximale Drehgeschwindigkeit **V0** der Spindelachse **12** bei manchen Werkzeugmaschinenkonfigurationen niedriger als die Geschwindigkeit **Vb** sein. In diesem Fall werden die Zeiträume **T2** und **T3** in den Fig. 3 und Fig. 4 weggelassen und arbeitet die Spindelachse **12** bei konstanter Beschleunigung und Entschleunigung von der Prozessbeginnposition zur Zielgewindetiefe.

[0028] Fig. 5 zeigt eine Geschwindigkeit-Zeit-Kurve der Bewegung der Spindelachse **12**, wenn die Drehresthöhe **Sr** die Hälfte der Drehgesamthöhe **S0** erreicht, bevor die aktuelle Geschwindigkeit **Vc** die maximale Drehgeschwindigkeit **V0** ($< Vb$) erreicht hat (wenn die Beurteilungen in Schritt **S3** und **S4** jeweils JA sind). Wie in der Zeichnung gezeigt, führt die Spindelachse **12** nur die Bewegungen während der Zeiträume **T1** und **T4** in Fig. 3 aus. Anders ausgedrückt wird eine Drehung der Spindelachse **12** bei maximaler Beschleunigung **A0** hin zur maximalen Drehgeschwindigkeit **V0** als Zielwert während eines Zeitraums **T1** beschleunigt, und die Spindelachse **12** ändert ihren Modus, wenn **Sr** die Hälfte von **S0** erreicht hat, oder zum Zeitpunkt **A** von Beschleunigung auf Entschleunigung und führt eine entschleunigte Dre-

hung bei maximaler Beschleunigung **A0** während des Zeitraums **T4** vom Punkt **A** zur Position durch, an der die Drehresthöhe **Sr 0** ist. Während die Spindelachse **12** eine entschleunigte Drehung durchführt, führt der Spindelachsensteuerabschnitt **18** (Positionsbewegungssteuerabschnitt **38**) eine Positionssteuerung an der Spindelachse **12** allein durch.

[0029] Fig. 6 zeigt eine Geschwindigkeit-Zeit-Kurve der Bewegung der Spindelachse **12**, wenn die aktuelle Geschwindigkeit **Vc** die maximale Drehgeschwindigkeit **V0** ($< V_b$) erreicht hat, bevor die Drehresthöhe **Sr** die Hälfte der Drehgesamthöhe **S0** erreicht hat (wenn die Beurteilung in Schritt **S3** Nein ist). Wie in der Zeichnung gezeigt, führt die Spindelachse **12** die Bewegungen während der Zeiträume **T1** und **T4** in Fig. 4 und die Bewegung durch, die **T5** in Fig. 4 entspricht. Anders ausgedrückt wird eine Drehung der Spindelachse **12** bei maximaler Beschleunigung **A0** hin zur maximalen Drehgeschwindigkeit **V0** als Zielwert während des Zeitraums **T1** beschleunigt. Nachdem die maximale Drehgeschwindigkeit **V0** erreicht wurde, dreht sich die Spindelachse mit der fixen Geschwindigkeit **V0** während eines Zeitraums **T6**, bis zum Punkt **A**, an dem die Drehresthöhe **Sr** der Beschleunigungsdrehhöhe **Sa** entspricht. Danach führt die Spindelachse während des Zeitraums **T4** vom Punkt **A** zur Position, an der die Drehresthöhe **Sr 0** ist, eine entschleunigte Drehung bei maximaler Entschleunigung **A0** durch. Während die Spindelachse **12** eine Drehung mit fixer Geschwindigkeit und eine entschleunigte Drehung durchführt, führt der Spindelachsensteuerabschnitt **18** (Positionsbewegungssteuerabschnitt **38**) eine Positionssteuerung an der Spindelachse **12** allein durch.

[0030] Bei einem Gewindebohrprozess unter Verwendung einer Werkzeugmaschine ist es erforderlich, eine Rückwärtsbewegung durchzuführen, um das Werkzeug aus dem Werkstück herauszuziehen, nachdem ein hergestelltes Loch mit einer Zielgewindetiefe im Werkstück gebildet wurde. Bei der obigen Ausführungsform kann die Steuereinheit **10**, wenn der Positionierungsbewegungssteuerabschnitt **38** so konfiguriert ist, dass er die Spindelachse **12** veranlasst, eine entschleunigte Drehung bei maximaler Kapazität durchzuführen und in der Zielgewindetiefe zu stoppen, die Rückwärtsbewegung auf ähnliche Weise wie die Steuerung der Bearbeitung zur Zielgewindetiefe steuern. Fig. 7 zeigt ein Verfahren zum Steuern einer Rückwärtsbewegung der Spindelachse **12** beim Gewindebohren als eine Ausführungsform eines Werkzeugmaschinensteuerverfahrens, das von der Steuereinheit **10** durchgeführt wird. Unter Bezugnahme auf Fig. 7 wird ein Beispiel für einen Steuerablauf einer Rückwärtsbewegung durch die Steuereinheit **10** beschrieben.

[0031] In Schritt **10** erhält der numerische Steuerabschnitt **16** (Spindelachsenbefehlausgabeabschnitt

26), nachdem in dem in Fig. 2 gezeigten Prozessablauf bestimmt wurde, dass der Gewindebohrprozess eine Zielgewindetiefe erreicht hat, aus den vom Programminterpretationsabschnitt **24** interpretierten Befehlswerten des Gewindebohrprogramms **P** eine Rückwärtsdrehgesamthöhe **S0'** und eine maximale Rückwärtsdrehgeschwindigkeit **V0'** der Spindelachse **12** während eines Zeitraums, wenn die Spindelachse von der Zielgewindetiefe zu einer Rückwärtsendposition arbeitet, und sendet die Rückwärtsdrehgesamthöhe **S0'** und die maximale Rückwärtsdrehgeschwindigkeit **V0'** als Spindelachsenbefehl **CS** an den Spindelachsensteuerabschnitt **18**. Der Spindelachsenbefehl **CS** der Rückwärtsbewegung enthält weder den Positionsbefehl noch den Beschleunigungs- und Entschleunigungsbefehl zum Durchführen einer Drehbewegung der Spindelachse **12** zur Rückwärtsendposition. Die Rückwärtsendposition kann gleich wie die Prozessbeginnposition sein oder sich von dieser unterscheiden. Wenn die Rückwärtsendposition mit der Prozessbeginnposition zusammenfällt, entspricht die Rückwärtsdrehgesamthöhe **S0'** der Drehgesamthöhe **S0** während der Bearbeitung, die maximale Rückwärtsdrehgeschwindigkeit **V0'** fällt jedoch nicht immer mit der maximalen Drehgeschwindigkeit **V0** während der Bearbeitung zusammen.

[0032] In Schritt **S11** führt der Spindelachsensteuerabschnitt **18** (Ausgangsbewegungssteuerabschnitt **30**, Abschnitt **32** zum Erkennen einer maximalen Beschleunigung und Abschnitt **34** zum Erkennen einer Drehresthöhe) die folgenden Prozesse durch. Der Ausgangsbewegungssteuerabschnitt **30** veranlasst die Spindelachse **12**, eine beschleunigte Umkehrdrehung bei maximaler Kapazität unter Verwendung des maximal zulässigen Stroms der Antriebsquelle, wobei die maximale Rückwärtsdrehgeschwindigkeit **V0'** als Zielwert festgelegt ist, von der Zielgewindetiefe hin zur Rückwärtsendposition durchzuführen. Der Abschnitt **32** zum Erkennen einer maximalen Beschleunigung erkennt eine maximale Umkehrdrehbeschleunigung **A0'** während der beschleunigten Umkehrdrehung bei maximaler Kapazität auf Basis der Drehposition FBS. Der Drehresthöhenenerkennungsabschnitt **34** erkennt sukzessive eine Rückwärtsdrehresthöhe **Sr'** der Spindelachse **12** während des Zeitraums, wenn die Spindelachse von der aktuellen Position zur Rückwärtsendposition arbeitet, auf Basis der Rückwärtsdrehgesamthöhe **S0'** und der Drehposition FBS. Die erkannte Rückwärtsdrehresthöhe **Sr'** wird dem numerischen Steuerabschnitt **16** durch den Spindelachsensteuerabschnitt **18** mitgeteilt, und zwar jedes Mal, wenn diese erkannt wird.

[0033] Danach erkennt der Spindelachsensteuerabschnitt **18** (Abschnitt **36** zum Erkennen einer aktuellen Geschwindigkeit) in Schritt **S12** sukzessive eine aktuelle Geschwindigkeit **Vc'** einer Rückwärtsdrehung der Spindelachse auf Basis der Drehposition FBS während der beschleunigten Umkehrdrehung

bei maximaler Kapazität und beurteilt, ob die aktuelle Vc' die maximale Rückwärtsdrehgeschwindigkeit $V0'$ erreicht hat, und zwar jedes Mal, wenn diese erkannt wird. Wenn die Vc' die $V0'$ nicht erreicht hat, beurteilt der Spindelachsensteuerabschnitt **18** in Schritt **S13**, ob die Rückwärtsdrehresthöhe Sr' der Hälfte der Gesamtrückdrehhöhe $S0'$ entspricht oder geringer als diese ist. Wenn Sr' der Hälfte von $S0'$ entspricht oder geringer als diese ist, veranlasst der Spindelachsensteuerabschnitt **18** in Schritt **S14** die Spindelachse **12**, eine entschleunigte Umkehrdrehung bei maximaler Kapazität unter Verwendung des maximal zulässigen Stroms der Antriebsquelle weiterhin durchzuführen.

[0034] Wenn Sr' nicht der Hälfte von $S0'$ entspricht oder nicht geringer als diese ist, kehrt die Steuerung zu Schritt **S12** zurück.

[0035] Danach beurteilt der Spindelachsensteuerabschnitt **18** (Positionierungsbewegungssteuerabschnitt **38**) in Schritt **S15**, ob der absolute Wert $|Sr'|$ der Rückwärtsdrehresthöhe Sr' in der aktuellen Position der Spindelachse **12** $|Sr'| = Vb^2 / |A0'| / 120$ erfüllt. Wenn $|Sr'| = Vb^2 / |A0'| / 120$ erfüllt ist, erzeugt der Spindelachsensteuerabschnitt **18** (Positionierungsbewegungssteuerabschnitt **38**) in Schritt **S16** einen Befehl zum Stoppen der Spindelachse **12** an dem Punkt, an dem $Sr' = 0$ (oder Rückwärtsendposition), indem er die Spindelachse **12** veranlasst, eine entschleunigte Umkehrdrehung bei maximaler Entschleunigung $A0'$ durchzuführen, und führt eine Positionssteuerung an der Spindelachse **12** auf Basis dieses Befehls durch. Wenn $|Sr'| = Vb^2 / |A0'| / 120$ nicht erfüllt ist, wird die gleiche Beurteilung wiederholt, bis diese Gleichung erfüllt ist. Die Spindelachse **12** führt gemäß dem Befehl vom Spindelachsensteuerabschnitt **18** (Positionierungsbewegungssteuerabschnitt **38**) eine entschleunigte Umkehrdrehung bei maximaler Entschleunigung $A0'$ durch und stoppt, wenn Sr' gleich 0 ist.

[0036] Wenn in Schritt **S12** bestimmt wird, dass die aktuelle Geschwindigkeit Vc' die maximale Rückwärtsdrehgeschwindigkeit $V0'$ erreicht hat, speichert der Spindelachsensteuerabschnitt **18** in Schritt **S17** die Drehhöhe (d. h. die Drehposition FBS) der Spindelachse **12** von der Zielgewindetiefe, wenn die aktuelle die maximale Rückwärtsdrehgeschwindigkeit $V0'$ erreicht hat, als Beschleunigungsdrehhöhe Sa' . Danach beurteilt der Spindelachsensteuerabschnitt **18** in Schritt **S18**, ob die Rückwärtsdrehresthöhe Sr' der Beschleunigungsdrehhöhe Sa' entspricht oder geringer als diese ist. Wenn Sr' der Sa' entspricht oder geringer als diese ist, geht die Steuerung zu Schritt **S14** über und führt danach Schritt **S15** und **S16** aus, um eine Rückwärtsbewegung zur Rückwärtsendposition durchzuführen. Wenn Sr' größer als Sa' ist, wird die Beurteilung wiederholt, bis Sr' der Sa' entspricht oder geringer als diese ist.

[0037] Die obige Rückwärtsbewegung der Spindelachse **12** kann durch eine Geschwindigkeit-Zeit-Kurve ähnlich der in **Fig. 3** oder **Fig. 4** gezeigten Schneidbewegung dargestellt werden. Wenn die Rückwärtsdrehgesamthöhe $S0'$ und die maximale Rückwärtsdrehgeschwindigkeit $V0'$ der Drehgesamthöhe $S0$ bzw. der maximalen Drehgeschwindigkeit $V0$ zum Zeitpunkt des Schneidens entsprechen, zeigen die Schneidbewegung und die Rückwärtsbewegung praktisch die gleiche Geschwindigkeit-Zeit-Kurve. Wenn sich die Rückwärtsdrehgesamthöhe $S0'$ und die maximale Rückwärtsdrehgeschwindigkeit $V0'$ andererseits von der Drehgesamthöhe $S0$ bzw. der maximalen Drehgeschwindigkeit $V0$ zum Zeitpunkt des Schneidens unterscheiden, zeigen die Schneidbewegung und die Rückwärtsbewegung nicht immer die gleiche Geschwindigkeit-Zeit-Kurve.

[0038] Während der Spindelachsensteuerabschnitt **18** die Umkehrdrehung der Spindelachse **12** von der Zielgewindetiefe zur Rückwärtsendposition steuert, veranlasst der Vorschubachsensteuerabschnitt **22** die Vorschubachse **14**, eine Umkehrschubbewegung durchzuführen, so dass diese der Bewegung der Spindelachse **12** folgt, auf Basis der Drehposition FBS der Spindelachse **12**. Während der Spindelachsensteuerabschnitt **18** den Prozess von Schritt **S10** bis Schritt **S18** durchführt, überwacht der numerische Steuerabschnitt **16** die Rückwärtsdrehresthöhe Sr' , die vom Spindelachsensteuerabschnitt **18** bekanntgegeben wird, und bestimmt, dass die Rückwärtsbewegung fertiggestellt ist und das Werkzeug aus dem Werkstück herausgezogen wurde, wenn die Rückwärtsdrehresthöhe Sr' einem zweiten vordefinierten Wert (einem sehr kleinen Wert nahe null) entspricht oder geringer als dieser ist.

[0039] Die Steuereinheit **10** gemäß der obigen Ausführungsform ist so konfiguriert, dass, wenn die Spindelachse **12** veranlasst wird, eine Schneidbewegung von der Prozessbeginnsposition zur Zielgewindetiefe durchzuführen, der numerische Steuerabschnitt **16** die Drehgesamthöhe $S0$ und die maximale Drehgeschwindigkeit $V0$ der Spindelachse **12** allein als Spindelachsenbefehl **CS** an den Spindelachsensteuerabschnitt **18** sendet; der Spindelachsensteuerabschnitt **18** die Schneidbewegung gemäß diesem Spindelachsenbefehl **CS** durch Beschleunigen der Spindelachse **12** bei maximaler Leistung unter Verwendung eines maximal zulässigen Stroms unter Abzielen auf die maximale Drehgeschwindigkeit $V0$ durchführt und auf Basis der maximalen Beschleunigung $A0$ während des Beschleunigungszeitraums, der sukzessive erkannten Drehresthöhe Sr und aktuellen Geschwindigkeit Vc der Spindelachse **12** die Spindelachse **12** bei maximaler Entschleunigung $A0$ entschleunigt, um die Schneidbewegung zur Zielgewindetiefe in der kürzesten Zeit fortzusetzen, so dass die Zielgewindetiefe erreicht wird. Aus diesem Grund ist es gemäß der Steuereinheit **10** nicht länger erforderlich,

eine Parametereinstellung, -anpassung und Anderes durchzuführen, um Beschleunigungs- und Entschleunigungsbefehle gemäß den Ausgabecharakteristika der Spindelachse **12** für den numerischen Steuerabschnitt **16** zu erzeugen, und somit ist es möglich, die Gewindebohrzykluszeit mit einer einfacheren Konfiguration durch Durchführen einer Beschleunigungs- und Entschleunigungssteuerung zu verringern, die die Beschleunigungskapazität der Spindelachse **12** maximieren kann.

[0040] Die Steuereinheit **10** gemäß der obigen Ausführungsform ist so konfiguriert, dass, wenn die Spindelachse **12** veranlasst wird, einen Rückwärtsbetrieb von der Zielgewindetiefe in die Rückwärtsendposition durchzuführen, der numerische Steuerabschnitt **16** die Rückwärtsdrehgesamthöhe **S0'** und die maximale Rückwärtsdrehgeschwindigkeit **V0'** der Spindelachse **12** allein als Spindelachsenbefehl CS an den Spindelachsensteuerabschnitt **18** sendet; der Spindelachsensteuerabschnitt **18** die Rückwärtsbewegung gemäß diesem Spindelachsenbefehl **CS** durch Beschleunigen der Spindelachse **12** bei maximaler Leistung unter Verwendung eines maximal zulässigen Stroms unter Abzielen auf die maximale Rückwärtsdrehgeschwindigkeit **V0'** durchführt und auf Basis der maximalen Beschleunigung **A0'** während des Beschleunigungszeitraums, der sukzessive erkannten Rückwärtsdrehresthöhe **Sr'** und aktuellen Geschwindigkeit **Vc'** der Spindelachse **12** die Spindelachse **12** bei maximaler Entschleunigung **A0'** entschleunigt, um die Rückwärtsbewegung zur Rückwärtsendposition in der kürzesten Zeit fortzusetzen, und die Spindelachse in der Rückwärtsendposition stoppt. Aus diesem Grund ist es gemäß der Steuereinheit **10** nicht länger erforderlich, eine Parametereinstellung, -anpassung und Anderes durchzuführen, um Beschleunigungs- und Entschleunigungsbefehle gemäß den Ausgabecharakteristika der Spindelachse **12** für den numerischen Steuerabschnitt **16** zu erzeugen, und somit ist es möglich, die Gewindebohrzykluszeit mit einer einfacheren Konfiguration durch Durchführen einer Beschleunigungs- und Entschleunigungssteuerung zu verringern, die die Beschleunigungskapazität der Spindelachse **12** maximieren kann.

[0041] Die Konfiguration der Steuereinheit **10** der obigen Ausführungsform kann als Werkzeugmaschinensteuerungsverfahren zum Steuern eines synchronisierten Betriebs der Spindelachse **12** und der Vorschubachse **14** beschrieben werden. Dieses Steuerungsverfahren umfasst die von der Steuereinheit **10** durchgeführten Aktionen des Erhaltens einer Drehgesamthöhe **S0** und einer maximalen Drehgeschwindigkeit **V0** der Spindelachse **12** während eines Zeitraums, wenn die Spindelachse **12** von einer Prozessbeginnposition in eine Zielgewindetiefe arbeitet, von einem Gewindebohrprogramm P; des Veranlassens der Spindelachse **12**, eine beschleunigte Drehung bei maximaler Kapazität von der Prozessbeginnposition

hin zur Zielgewindetiefe durchzuführen, wobei die maximale Drehgeschwindigkeit **V0** als Zielwert festgelegt ist; des Erkennens einer maximalen Beschleunigung **A0** während der beschleunigten Drehung bei maximaler Kapazität auf Basis eines Drehpositionsfeedbacks FBS der Spindelachse **12**; des Erkennens einer Drehresthöhe **Sr** der Spindelachse **12** während des Zeitraums, wenn die Spindelachse von einer aktuellen Position zur Zielgewindetiefe arbeitet, auf Basis der Drehgesamthöhe **S0** und des Drehpositionsfeedbacks FBS; des Erkennens einer aktuellen Geschwindigkeit **Vc** der Spindelachse **12** auf Basis des Drehpositionsfeedbacks FBS; und des Veranlassens der Spindelachse **12**, eine entschleunigte Drehung bei maximaler Kapazität, um die Zielgewindetiefe zu erreichen, nach der beschleunigten Drehung bei maximaler Kapazität auf Basis der maximalen Beschleunigung **A0**, der Drehresthöhe **Sr** und der aktuellen Geschwindigkeit **Vc** durchzuführen. Diese Konfiguration ermöglicht, eine Drehung der Spindelachse **12** bei maximaler Kapazität zu entschleunigen und die Spindelachse in der Zielgewindetiefe zu stoppen.

[0042] Bei diesem Steuerungsverfahren umfasst die Steuereinheit **10** des Weiteren die Aktionen des Erhaltens einer Rückwärtsdrehgesamthöhe **S0'** und einer maximalen Rückwärtsdrehgeschwindigkeit **V0'** der Spindelachse **12** während eines Zeitraums, wenn die Spindelachse **12** von der Zielgewindetiefe zur Rückwärtsendposition arbeitet, von einem Gewindebohrprogramm P; des Veranlassens der Spindelachse **12**, eine beschleunigte Umkehrdrehung bei maximaler Kapazität von der Zielgewindetiefe zur Rückwärtsendposition durchzuführen, wobei eine maximale Rückwärtsdrehgeschwindigkeit **V0'** als Zielwert festgelegt ist; des Erkennens einer maximalen Umkehrdrehbeschleunigung **A0'** während der beschleunigten Umkehrdrehung bei maximaler Kapazität auf Basis eines Drehpositionsfeedbacks FBS der Spindelachse **12**; des Erkennens einer Rückwärtsdrehresthöhe **Sr'** der Spindelachse **12** während des Zeitraums, wenn die Spindelachse von der aktuellen Position zur Rückwärtsendposition arbeitet, auf Basis der Rückwärtsdrehgesamthöhe **S0'** und des Drehpositionsfeedbacks FBS; des Erkennens einer aktuellen Umkehrdrehgeschwindigkeit **Vc'** der Spindelachse **12** auf Basis des Drehpositionsfeedbacks FBS; und des Veranlassens der Spindelachse **12**, eine entschleunigte Umkehrdrehung bei maximaler Kapazität, um sich zurückzubewegen und in der Rückwärtsendposition zu stoppen, nach einer beschleunigten Umkehrdrehung bei maximaler Kapazität auf Basis der maximalen Beschleunigung **A0'**, der Rückwärtsdrehresthöhe **Sr'** und der aktuellen Umkehrdrehgeschwindigkeit **Vc'** durchzuführen.

[0043] Beim Gewindebohrprozess unter Verwendung einer Werkzeugmaschine wird bevorzugt, dass die Steuereinheit die Drehposition der Spindelachse und die Vorschubposition der Vorschubachse

während des Gewindebohrens kontinuierlich erfasst. **Fig. 8** zeigt Funktionsblöcke einer Konfiguration einer Steuereinheit **40** gemäß einem modifizierten Beispiel, wobei eine Funktion des Erkennens der Positionen der Spindelachse und der Vorschubachse hinzugefügt ist. Die Steuereinheit **40** enthält die gleiche Konfiguration wie jene der Steuereinheit **10** in **Fig. 1**, mit der Ausnahme, dass eine Positionserkennungsfunktion hinzugefügt ist. Entsprechende Komponenten sind durch die gleichen Bezugszeichen ausgewiesen und ihre ausführliche Beschreibung wird nicht wiederholt.

[0044] Die Steuereinheit **40** enthält einen numerischen Steuerabschnitt **16**, der so konfiguriert ist, dass er einen Spindelachsenbefehl **CS** und einen Vorschubachsenbefehl auf Basis eines Gewindebohrprogramms **P** erzeugt; einen Spindelachsensteuerabschnitt **18**, der so konfiguriert ist, dass er eine Drehbewegung einer Spindelachse **12** gemäß dem Spindelachsenbefehl **CS** steuert; einen Dreherkennungsabschnitt **20**, der so konfiguriert ist, dass er eine Drehposition der Spindelachse **12** erkennt; einen Vorschubachsensteuerabschnitt **22**, der so konfiguriert ist, dass er eine Vorschubbewegung einer Vorschubachse **14** gemäß dem Vorschubachsenbefehl **CF** auf Basis der von Dreherkennungsabschnitt **20** erkannten Drehbewegung steuert; und einen Vorschuberkennungsabschnitt **42**, der so konfiguriert ist, dass er die Vorschubposition der Vorschubachse **14** erkennt. Ein Vorschubachsenbefehlausgabeabschnitt **28** des numerischen Steuerabschnitts **16** erhält vor Beginn eines Gewindebohrprozesses aus den Befehlswerten vom Gewindebohrprogramm **P**, die von einem Programminterpretationsabschnitt **24** interpretiert werden, eine Vorschubgesamtmenge **D0** (mm) der Vorschubachse **14**, die einer Zielgewindetiefe und einer Gewindesteigung **Pt** (mm/Umdr.) entspricht, und sendet die Vorschubgesamtmenge **D0** und die Gewindesteigung **Pt** als Vorschubachsenbefehl **CF** an den Vorschubachsensteuerabschnitt **22**. Auf diese Weise enthält der Vorschubachsenbefehl **CF** weder einen Positionsbefehl noch Beschleunigungs- und Entschleunigungsbefehl zum Durchführen einer Vorschubbewegung der Vorschubachse **14** zur Zielgewindetiefe.

[0045] Der Vorschubachsensteuerabschnitt **22** enthält einen Vorschubbewegungssteuerabschnitt **44**, der so konfiguriert ist, dass er eine Vorschubbewegung der Vorschubachse **14** auf Basis der Drehposition **FBS** der Spindelachse **12**, die vom Dreherkennungsabschnitt **20** erkannt wird, der Gewindesteigung **Pt** und der Vorschubposition (ein Feedbackwert; im Folgenden als Vorschubposition **FBF**) der Vorschubachse **14**, die vom Vorschuberkennungsabschnitt **42** erkannt wird, steuert; und einen Abschnitt **46** zum Erkennen einer Vorschubrestmenge, der so konfiguriert ist, dass er eine Vorschubrestmenge **Dr** der Vorschubachse **14** von der aktuellen Position

zur Zielgewindetiefe auf Basis der Vorschubgesamtmenge **D0** und der Vorschubposition **FBF** erkennt. Der Vorschuberkennungsabschnitt **42** kann die Vorschubposition **FBF** von einer Ausgabe einer Positionserkennungseinheit (nicht gezeigt) wie z. B. einem Codierer oder dergleichen erhalten, die die Betriebsposition der Antriebseinheit der Vorschubachse **14** erkennt.

[0046] Der Abschnitt **34** zum Erkennen einer Drehresthöhe des Spindelachsensteuerabschnitts **18** erkennt die Drehresthöhe **Sr** an der aktuellen Position der Spindelachse **12** sukzessive, während die Spindelachse **12** veranlasst wird, eine Schneidbewegung von der Prozessbeginnposition zur Zielgewindetiefe durchzuführen, und gibt die Drehresthöhe **Sr** an den numerischen Steuerabschnitt **16** bekannt, und zwar jedes Mal, wenn diese erkannt wird. Der Abschnitt **46** zum Erkennen einer Vorschubrestmenge des Vorschubachsensteuerabschnitts **22** erkennt die Vorschubrestmenge **Dr** an der aktuellen Position der Vorschubachse **14** sukzessive, während die Vorschubachse **14** veranlasst wird, eine Vorschubbewegung von der Prozessbeginnposition zur Zielgewindetiefe durchzuführen, und gibt die Vorschubrestmenge **Dr** an den numerischen Steuerabschnitt **16** bekannt, und zwar jedes Mal, wenn diese erkannt wird. Des Weiteren gibt der Vorschubachsensteuerabschnitt **22** die Ausgangsposition **Di** (Vorschubposition **FBF**) der Vorschubachse **14** zum Beginn der Verarbeitung dem numerischen Steuerabschnitt **16** bekannt.

[0047] Der numerische Steuerabschnitt **16** enthält einen Positionserkennungsabschnitt **48** zum Erkennen der aktuellen Position der Spindelachse **12** auf Basis der Drehresthöhe **Sr** und zum Erkennen der aktuellen Position der Vorschubachse **14** auf Basis der Vorschubrestmenge **Dr**. Der Positionserkennungsabschnitt **48** erkennt die aktuelle Position der Spindelachse **12** als ($S_0 - S_r$) auf Basis der Drehgesamthöhe **S0** der Spindelachse **12**, die vom Gewindebohrprogramm **P** erhalten wird, und der Drehresthöhe **Sr** der Spindelachse **12**, die vom Spindelachsensteuerabschnitt **18** bekanntgegeben wird. Der Positionserkennungsabschnitt **48** erkennt die aktuelle Position der Vorschubachse **14** als ($DO - Dr + Di$) auf Basis der Vorschubgesamtmenge **D0** der Vorschubachse **14**, die vom Gewindebohrprogramm **P** erhalten wird, und der Vorschubrestmenge **Dr** und der Ausgangsposition **Di** der Vorschubachse **14**, die vom Vorschubachsensteuerabschnitt **22** bekanntgegeben werden.

[0048] Bei der Steuereinheit **40** mit der obigen Konfiguration kann der Positionserkennungsabschnitt **48** des numerischen Steuerabschnitts **16** die aktuellen Positionen der Spindelachse **12** und der Vorschubachse **14** erkennen, auch wenn der vom numerischen Steuerabschnitt **16** erzeugte Spindelachsenbefehl **CS** weder den Positionsbefehl noch den

Beschleunigungs- und Entschleunigungsbefehl der Spindelachse **12** enthält, der vom numerischen Steuerabschnitt **16** erzeugte Vorschubachsenbefehl **CF** weder den Positionsbefehl noch den Beschleunigungs- und Entschleunigungsbefehl der Vorschubachse **14** enthält. Aus diesem Grund kann der numerische Steuerabschnitt **16** als übergeordnete Steuereinheit des Spindelachsensteuerabschnitts **18** und des Vorschubachsensteuerabschnitts **22** zum Durchführen einer Feedbacksteuerung gemäß der Steuereinheit **40** die betriebenen Zustände der Spindelachse **12** und der Vorschubachse **14** konstant erfassen oder steuern, während das Gewindebohren ausgeführt wird, und kann somit die Zuverlässigkeit der Gewindebohrprozesssteuerung verbessern.

[0049] Bei der Steuereinheit **40** ist es gleichermaßen möglich, dass der Positionserkennungsabschnitt **48** des numerischen Steuerabschnitts **16** die aktuellen Positionen der Spindelachse **12** und der Vorschubachse **14** erkennt, während ein Rückwärtsbetrieb beim Gewindebohrprozess gesteuert wird. Wenn der numerische Steuerabschnitt **16** bestimmt, dass der Gewindebohrprozess die Zielgewindetiefe erreicht hat, erhält der Vorschubachsenbefehlausgabeabschnitt **28** in diesem Fall eine Rückwärtsschubgesamtmenge $D0^{-1}$ (mm) der Vorschubachse **14**, die der Zielgewindelänge entspricht, und eine Gewindesteigung Pt (mm/Umdr.) aus den Befehlswerten des Gewindebohrprogramms **P**, die vom Programminterpretationsabschnitt **24** interpretiert werden, und sendet diese Rückwärtsschubgesamtmenge **D0'** (mm) und Gewindesteigung Pt (mm/Umdr.) als Vorschubachsenbefehl **CF** an den Vorschubachsensteuerabschnitt **22**. Für gewöhnlich fällt die Rückwärtsschubgesamtmenge **D0'** mit der Vorschubgesamtmenge **D0** zusammen.

[0050] Der Vorschubbewegungssteuerabschnitt **44** des Vorschubachsensteuerabschnitts **22** steuert eine Rückwärtsschubbewegung der Vorschubachse **14** auf Basis der Drehposition FBS der Rückwärtsbewegung der Spindelachse **12**, der Gewindesteigung Pt und der Vorschubposition FBF der Rückwärtsbewegung der Vorschubachse **14**. Der Abschnitt **46** zum Erkennen einer Vorschubrestmenge des Vorschubachsensteuerabschnitts **22** erkennt eine Rückwärtsschubrestmenge **Dr'** der Vorschubachse **14** aus der aktuellen Position zur Rückwärtsendposition auf Basis der Rückwärtsschubgesamtmenge **D0'** und der Vorschubposition FBF. Der Abschnitt **34** zum Erkennen einer Drehresthöhe des Spindelachsensteuerabschnitts **18** erkennt die Rückwärtsdrehresthöhe **Sr** an der aktuellen Position der Spindelachse **12** sukzessive, während die Spindelachse **12** veranlasst wird, eine Rückwärtsbewegung von der Zielgewindetiefe zur Rückwärtsendposition durchzuführen, und gibt die Rückwärtsdrehresthöhe **Sr** an den numerischen Steuerabschnitt **16** bekannt, und zwar jedes Mal, wenn diese erkannt wird. Der Ab-

schnitt **46** zum Erkennen einer Vorschubrestmenge des Vorschubachsensteuerabschnitts **22** erkennt die Rückwärtsschubrestmenge **Dr'** an der aktuellen Position der Vorschubachse **14** sukzessive, während die Vorschubachse **14** veranlasst wird, eine Rückwärtsschubbewegung von der Zielgewindetiefe zur Rückwärtsendposition durchzuführen, und gibt die Rückwärtsschubrestmenge **Dr'** an den numerischen Steuerabschnitt **16** bekannt, und zwar jedes Mal, wenn diese erkannt wird. Des Weiteren gibt der Vorschubachsensteuerabschnitt **22** die Ausgangsposition **Di'** (Vorschubposition FBF) der Vorschubachse **14** zum Beginn der Rückwärtsbewegung dem numerischen Steuerabschnitt **16** bekannt. Der Positionserkennungsabschnitt **48** des numerischen Steuerabschnitts **16** erkennt die aktuelle Position der Spindelachse **12** auf Basis der Rückwärtsdrehgesamtmenge **S0'** und der Rückwärtsdrehresthöhe **Sr'** der Spindelachse **12** als $(S0' - Sr')$ und erkennt die aktuelle Position der Vorschubachse **14** auf Basis der Rückwärtsschubgesamtmenge **D0Ä**, der Rückwärtsschubrestmenge **Dr'** und der Ausgangsposition **Di'** der Vorschubachse **14** als $(D0' - Dr' + Di')$ an.

[0051] Bei einem Gewindebohrprozess unter Verwendung einer Werkzeugmaschine wird bevorzugt, dass die Steuereinheit den Synchronisationsfehler zwischen der Spindelachse und die Vorschubposition der Vorschubachse während des Gewindebohrens kontinuierlich erfasst. **Fig. 9** zeigt Funktionsblöcke einer Konfiguration einer Steuereinheit **50** gemäß einem modifizierten Beispiel, wobei eine Funktion des Erkennens des Synchronisationsfehlers zwischen der Spindelachse und der Vorschubachse hinzugefügt ist. Die Steuereinheit **50** enthält die gleiche Konfiguration wie jene der Steuereinheit **10** in **Fig. 1**, mit der Ausnahme, dass eine Synchronisationsfehlererkennungsfunktion hinzugefügt ist. Entsprechende Komponenten sind durch die gleichen Bezugszeichen ausgewiesen und ihre ausführliche Beschreibung wird nicht wiederholt.

[0052] Die Steuereinheit **50** enthält einen numerischen Steuerabschnitt **16**, der so konfiguriert ist, dass er einen Spindelachsenbefehl **CS** und einen Vorschubachsenbefehl auf Basis eines Gewindebohrprogramms **P** erzeugt; einen Spindelachsensteuerabschnitt **18**, der so konfiguriert ist, dass er eine Drehbewegung der Spindelachse **12** gemäß dem Spindelachsenbefehl **CS** steuert; einen Dreherkennungsabschnitt **20**, der so konfiguriert ist, dass er eine Drehposition der Spindelachse **12** erkennt; einen Vorschubachsensteuerabschnitt **22**, der so konfiguriert ist, dass er eine Vorschubbewegung der Vorschubachse **14** gemäß dem Vorschubachsenbefehl **CF** auf Basis der von Dreherkennungsabschnitt **20** erkannten Drehbewegung steuert; und einen Vorschuberkennungabschnitt **42**, der so konfiguriert ist, dass er die Vorschubposition der Vorschubachse **14** erkennt. Ein Vorschubachsenbefehlausgabeab-

schnitt **28** des numerischen Steuerabschnitts **16** erhält vor Beginn eines Gewindebohrprozesses aus den Befehlswerten vom Gewindebohrprogramm **P**, die von einem Programminterpretationsabschnitt **24** interpretiert werden, eine Vorschubgesamtmenge **D0** (mm) der Vorschubachse **14**, die einer Zielgewindetiefe und einer Gewindesteigung **Pt** (mm/Umdr.) entspricht, und sendet die Vorschubgesamtmenge **D0** und die Gewindesteigung **Pt** als Vorschubachsenbefehl **CF** an den Vorschubachsensteuerabschnitt **22**. Auf diese Weise enthält der Vorschubachsenbefehl **CF** weder den Positionsbefehl noch den Beschleunigungs- und Entschleunigungsbefehl zum Durchführen einer Vorschubbewegung der Vorschubachse **14** zur Zielgewindetiefe.

[0053] Der Vorschubachsensteuerabschnitt **22** enthält einen Vorschubbewegungssteuerabschnitt **44**, der so konfiguriert ist, dass er eine Vorschubbewegung der Vorschubachse **14** auf Basis der Drehposition FBS der Spindelachse **12**, die vom Dreherkennungsabschnitt **20** erkannt wird, der Gewindesteigung **Pt** und der Vorschubposition (ein Feedbackwert; im Folgenden als Vorschubposition FBF) der Vorschubachse **14**, die vom Vorschuberkennungsabschnitt **42** erkannt wird, steuert; und einen Abschnitt **46** zum Erkennen einer Vorschubrestmenge, der so konfiguriert ist, dass er eine Vorschubrestmenge **Dr** der Vorschubachse **14** von der aktuellen Position zur Zielgewindetiefe auf Basis der Vorschubgesamtmenge **D0** und der Vorschubposition FBF erkennt. Der Abschnitt **34** zum Erkennen einer Drehresthöhe des Spindelachsensteuerabschnitts **18** erkennt die Drehresthöhe **Sr** an der aktuellen Position der Spindelachse **12** sukzessive, während die Spindelachse **12** veranlasst wird, eine Schneidbewegung von der Prozessbeginnposition zur Zielgewindetiefe durchzuführen, und gibt die Drehresthöhe **Sr** an den numerischen Steuerabschnitt **16** bekannt, und zwar jedes Mal, wenn diese erkannt wird.

[0054] Der Abschnitt **46** zum Erkennen einer Vorschubrestmenge des Vorschubachsensteuerabschnitts **22** erkennt die Vorschubrestmenge **Dr** an der aktuellen Position der Vorschubachse **14** sukzessive, während die Vorschubachse **14** veranlasst wird, eine Vorschubbewegung von der Prozessbeginnposition zur Zielgewindetiefe durchzuführen, und gibt die Vorschubrestmenge **Dr** an den numerischen Steuerabschnitt **16** bekannt, und zwar jedes Mal, wenn diese erkannt wird.

[0055] Der numerische Steuerabschnitt **16** enthält einen Synchronisationsfehlerberechnungsabschnitt **52**, der so konfiguriert ist, dass er einen Synchronisationsfehler eines synchronisierten Betriebs der Spindelachse **12** und der Vorschubachse **14** auf Basis der Drehresthöhe **Sr**, der Vorschubrestmenge **Dr** und der Gewindesteigung **Pt** berechnet. Der Synchronisationsfehlerberechnungsabschnitt **52** berechnet ei-

nen Synchronisationsfehler **E** zwischen der Spindelachse **12** und der Vorschubachse **14** durch die folgenden Ausdrücke unter Verwendung der Drehresthöhe **Sr** (Umdr.) der Spindelachse **12**, die vom Spindelachsensteuerabschnitt **18** bekanntgegeben wird, der Vorschubrestmenge **Dr** (mm) der Vorschubachse **14**, die vom Vorschubachsensteuerabschnitt **22** bekanntgegeben wird, und der Gewindesteigung (mm/Umdr.).

[0056] Wenn der Synchronisationsfehler **E** in Bezug auf die Drehhöhe der Spindelachse **12** berechnet wird:

$$E(\text{rev}) = Sr - Dr/Pt$$

[0057] Wenn der Synchronisationsfehler **E** in Bezug auf die Vorschubmenge der Vorschubachse **14** berechnet wird:

$$E(\text{mm}) = Sr \times Pt - Dr$$

[0058] Bei der Steuereinheit **50** mit der obigen Konfiguration kann der Synchronisationsfehlerberechnungsabschnitt **52** des numerischen Steuerabschnitts **16** den Synchronisationsfehler **E** zwischen der Spindelachse **12** und der Vorschubachse **14** sogar dann bestimmen, wenn der numerische Steuerabschnitt **16** so konfiguriert ist, dass er keine Feedbacksteuerung zur Spindelachse **12** und Vorschubachse **14** durchführt. Aus diesem Grund kann der numerische Steuerabschnitt **16** als übergeordnete Steuereinheit des Spindelachsensteuerabschnitts **18** und des Vorschubachsensteuerabschnitts **22** zum Durchführen einer Feedbacksteuerung gemäß der Steuereinheit **50** den Synchronisationsfehler **E** zwischen der Spindelachse **12** und der Vorschubachse **14** konstant erfassen oder steuern, während das Gewindebohren ausgeführt wird, und kann somit die Zuverlässigkeit der Gewindebohrprozesssteuerung verbessern.

[0059] Der numerische Steuerabschnitt **16** der Steuereinheit **50** kann einen Anzeigesteuerabschnitt **56** zum Anzeigen des Synchronisationsfehlers **E**, der vom Synchronisationsfehlerberechnungsabschnitt **52** bestimmt wird, auf einer Anzeigeeinheit **54** enthalten. Diese Konfiguration ermöglicht dem Benutzer, den Synchronisationsfehler **E** sukzessive zu bestätigen und somit schnell Maßnahmen in Reaktion auf den Synchronisationsfehler **E** zu ergreifen.

[0060] Bei der Steuereinheit **50** ist es gleichermaßen möglich, dass der Synchronisationsfehlerberechnungsabschnitt **52** des numerischen Steuerabschnitts **16** den Synchronisationsfehler **E** zwischen der Spindelachse **12** und der Vorschubachse **14** berechnet. Wenn der numerische Steuerabschnitt **16** bestimmt, dass der Gewindebohrprozess die Ziel-

gewindetiefe erreicht hat, erhält der Vorschubachsenbefehlausgabeabschnitt **28** in diesem Fall die Rückwärtsschubgesamtmenge $D0^{-1}$ (mm) der Vorschubachse **14**, die der Zielgewindelänge entspricht, und die Gewindesteigung **Pt** (mm/Umdr.) aus den Befehlswerten des Gewindebohrprogramms **P**, die vom Programminterpretationsabschnitt **24** interpretiert werden, und sendet diese Rückwärtsschubgesamtmenge **D0'** (mm) und Gewindesteigung **Pt** (mm/Umdr.) als Vorschubachsenbefehl **CF** an den Vorschubachsensteuerabschnitt **22**. Für gewöhnlich fällt die Rückwärtsschubgesamtmenge **D0'** mit der Vorschubgesamtmenge **D0** zusammen.

[0061] Der Vorschubbewegungssteuerabschnitt **44** des Vorschubachsensteuerabschnitts **22** steuert eine Rückwärtsschubbewegung der Vorschubachse **14** auf Basis der Drehposition FBS der Rückwärtsbewegung der Spindelachse **12**, der Gewindesteigung **Pt** und der Vorschubposition FBF der Rückwärtsbewegung der Vorschubachse **14**. Der Abschnitt **46** zum Erkennen einer Vorschubrestmenge des Vorschubachsensteuerabschnitts **22** erkennt eine Rückwärtsschubrestmenge **Dr'** der Vorschubachse **14** aus der aktuellen Position zur Rückwärtsendposition auf Basis der Rückwärtsschubgesamtmenge **D0'** und der Vorschubposition FBF. Der Abschnitt **34** zum Erkennen einer Drehresthöhe des Spindelachsensteuerabschnitts **18** erkennt die Rückwärtsdrehresthöhe **Sr'** von der aktuellen Position der Spindelachse **12** sukzessive, während die Spindelachse **12** veranlasst wird, eine Rückwärtsbewegung von der Zielgewindetiefe zur Rückwärtsendposition durchzuführen, und gibt die Rückwärtsdrehresthöhe **Sr** an den numerischen Steuerabschnitt **16** bekannt, und zwar jedes Mal, wenn diese erkannt wird. Der Abschnitt **46** zum Erkennen einer Vorschubrestmenge des Vorschubachsensteuerabschnitts **22** erkennt die Rückwärtsschubrestmenge **Dr'** von der aktuellen Position der Vorschubachse **14** sukzessive, während die Vorschubachse **14** veranlasst wird, eine Rückwärtsschubbewegung von der Zielgewindetiefe zur Rückwärtsendposition durchzuführen, und gibt die Rückwärtsschubrestmenge **Dr'** an den numerischen Steuerabschnitt **16** bekannt, und zwar jedes Mal, wenn diese erkannt wird. Der Synchronisationsfehlerberechnungsabschnitt **52** des numerischen Steuerabschnitts **16** berechnet den Synchronisationsfehler **E** zwischen der Spindelachse **12** und der Vorschubachse **14** unter Verwendung der Rückwärtsdrehresthöhe **Sr'** der Spindelachse **12**, der Rückwärtsschubrestmenge **Dr'** der Vorschubachse **14** und der Gewindesteigung **Pt** ($E = Sr' - Dr' / Pt$ oder $E = Sr' \times Pt - Dr'$).

[0062] Fig. 10 zeigt ein Schneid- und Rückwärtsbewegungssteuerungsverfahren der Spindelachse **12** in einem Gewindebohrprozess als weitere Ausführungsform eines Werkzeugmaschinensteuerungsverfahrens, das von der Steuereinheit **10** in Fig. 1 durchführbar ist. Die Fig. 11 und Fig. 12 zeigen zwei Bei-

spiele für den Betrieb der Spindelachse **12** bei der Ausführungsform von Fig. 10. Es wird nun auf die Fig. 1, Fig. 2, Fig. 7 und Fig. 10 bis Fig. 12 Bezug genommen, wobei das Werkzeugmaschinensteuerungsverfahren (Schneid- und Rückwärtsbewegungssteuerungsverfahren bei einem Gewindebohrprozess) einer weiteren Ausführungsform sowie die Konfiguration der Steuereinheit **10** gemäß der gleichen Ausführungsform zum Durchführen dieses Verfahrens beschrieben werden. Auch in der Steuereinheit **40** (Fig. 8) und der Steuereinheit **50** (Fig. 9) der oben beschriebenen modifizierten Beispiele kann das Schneid- und Rückwärtsbewegungssteuerungsverfahren in einem Gewindebohrprozess, wie nachfolgend beschrieben, durchgeführt werden.

[0063] Bei der in den Fig. 10 bis Fig. 12 gezeigten Ausführungsform, die einen Umriss zeigt, führt die Steuereinheit **10**, während die Spindelachse **12** von der Prozessbeginnposition (Drehposition) zur Zielgewindetiefe (Drehposition) bewegt wird, die gleichen Schritte wie beim Schneidbewegungssteuerungsverfahren des in Fig. 2 gezeigten Gewindebohrprozesses durch, um die Schneidbewegung der Spindelachse **12** zu steuern. Danach ist der Spindelachsensteuerabschnitt **18** (Positionierungsbewegungssteuerabschnitt **38**) der Steuereinheit **10** so konfiguriert, dass er eine beschleunigte Umkehrdrehung der Spindelachse **12** bis zu einer vordefinierten Drehposition bei maximaler Umkehrdrehbeschleunigung **A0'** (negativer Wert) gleich der maximalen Entschleunigungsdrehentschleunigung **A0** (negativer Wert) bei maximaler Kapazität durchführt, anstatt die Spindelachse **12** in der Zielgewindetiefe zu stoppen (oder ohne die Beschleunigung auf null zu bringen), wenn die Spindelachse **12** die Zielgewindetiefe erreicht hat. Nach der beschleunigten Umkehrdrehung der Spindelachse **12** bis zur vordefinierten Drehposition führt die Steuereinheit **10** die gleichen Schritte wie beim Rückwärtsbetriebsteuerungsverfahren des in Fig. 7 gezeigten Gewindebohrprozesses aus, um den Rückwärtsbetrieb der Spindelachse **12** zu steuern. Die Konfiguration dieser Ausführungsform wird im Folgenden ausführlich beschrieben. Auf die Beschreibung der Komponenten, die jenen in den Fig. 2 und Fig. 7 entsprechen, wird jedoch nach Bedarf verzichtet.

[0064] Wie in Fig. 10 gezeigt, führt die Steuereinheit **10** zunächst Schritt **S1** bis **S6**, **S8** und **S9** durch, die in Fig. 2 gezeigt sind (Schritt **U1**). Es wird nun auf Fig. 11 Bezug genommen, wobei eine Geschwindigkeit-Zeit-Kurve bereitgestellt ist, um die Bewegung der Spindelachse **12** darzustellen, wenn die Drehresthöhe **Sr** die Hälfte der Drehgesamthöhe **S0** erreicht, bevor die aktuelle Geschwindigkeit **Vc** während der Schneidbewegung die maximale Drehgeschwindigkeit **V0** erreicht hat (wenn die Beurteilungen in Schritt **S3** und **S4** in Fig. 2 jeweils JA sind). Die Bewegungen der Spindelachse **12** während Zeiträumen **T1**, **T2**, **T3** und **T4** in der Geschwindigkeit-

Zeit-Kurve in **Fig. 11** entsprechen den Bewegungen der Spindelachse **12** während Zeiträumen **T1**, **T2**, **T3** und **T4** in der oben beschriebenen Geschwindigkeit-Zeit-Kurve in **Fig. 3**. Anders ausgedrückt wird, wie in **Fig. 11** gezeigt, eine beschleunigte Drehung der Spindelachse **12** bei maximaler Kapazität während Zeiträumen **T1** und **T2** durchgeführt. Zum Zeitpunkt **A**, wenn die Drehresthöhe S_r der Hälfte der Drehgesamthöhe **S0** entspricht, ändert sich die Bewegung der Spindelachse **12** von einer beschleunigten Drehung zu einer entschleunigten Drehung. Die Drehung der Spindelachse **12** wird bei maximaler Kapazität während des Zeitraums **T3** entschleunigt und eine Positionssteuerung an der Spindelachse **12** wird während des Zeitraums **T4** durchgeführt.

[0065] Während die Steuereinheit **10** den Schritt **U1** (Schritt **S1** bis **S2** bis **S3** bis **S4** bis **S5** bis **S6**, in dieser Reihenfolge, in **Fig. 2**) durchführt, führt die Spindelachse **12** den gleichen Betrieb während der Zeiträume **T1**, **T2**, **T3** und **T4**, die in **Fig. 11** gezeigt sind, wie jenen während der Zeiträume **T1**, **T2**, **T3** und **T4** durch, die in **Fig. 3** gezeigt sind. Wenn der Spindelachsensteuerabschnitt **18** (Positionierungsbewegungssteuerabschnitt **38**) in Schritt **S6** in **Fig. 2** jedoch bestimmt, dass der absolute Wert $|S_r|$ der Drehresthöhe in der aktuellen Position der Spindelachse **12** $|S_r| = Vb^2 / |A0| / 120$ erfüllt (d. h., dass die Drehposition der Spindelachse **12** Punkt **B** erreicht hat), erzeugt die Steuereinheit in Schritt **U2** (**Fig. 10**) einen Befehl, der die Spindelachse **12** kontinuierlich veranlasst, eine beschleunigte Umkehrdrehung bei maximaler Beschleunigung **A0'** gleich der maximalen Entschleunigung **A0** auf die vordefinierte Drehposition (entspricht Punkt **C** in **Fig. 11**) durchzuführen, nachdem die Spindelachse **12** veranlasst wurde, eine entschleunigte Drehung bei maximaler Entschleunigung **A0** durchzuführen, um den Punkt zu erreichen, der $S_r = 0$ entspricht (d. h. die Zielgewindetiefe), und führt eine Positionssteuerung an der Spindelachse **12** gemäß diesem Befehl durch.

[0066] Wie in **Fig. 11** gezeigt, führt die Spindelachse **12** gemäß dem Befehl vom Spindelachsensteuerabschnitt **18** (Positionierungsbewegungssteuerabschnitt **38**) eine Schneidbewegung von Punkt **B** hin zur Zielgewindetiefe mit entschleunigter Drehung bei maximaler Entschleunigung **A0** durch und erreicht die Zielgewindetiefe, wenn $S_r = 0$ wird (Zeitraum **T4**). In dem Moment, in dem die Spindelachse **12** die Zielgewindetiefe erreicht hat, entspricht die aktuelle Geschwindigkeit **Vc** der Spindelachse **12** null, die Spindelachse **12** hält jedoch gemäß dem Befehl vom Spindelachsensteuerabschnitt **18** (Positionierungsbewegungssteuerabschnitt **38**) die maximale Entschleunigung **A0** oder dreht sich in Umkehrrichtung bei maximaler Beschleunigung **A0'**, führt eine beschleunigte Umkehrdrehung durch, die die aktuelle Geschwindigkeit **Vc** schrittweise erhöht (negativer Wert), um somit eine Rückwärtsbewegung

von der Zielgewindetiefe hin zu Punkt **C** über einen Zeitraum **T7** durchzuführen. Auf diese Weise führt der Spindelachsensteuerabschnitt **18** während des Zeitraums **T4**, in dem sich die Spindelachse **12** von Punkt **B** zur Zielgewindetiefe bewegt, und während des Zeitraums **T7**, in dem sich die Spindelachse von der Zielgewindetiefe zu Punkt **C** bewegt, eine Positionssteuerung an der Spindelachse **12** durch (Schritt **U2**) und bewegt die Spindelachse **12** bei konstanter Beschleunigung **A0** kontinuierlich (der Geschwindigkeitsbefehl einer konstanten Beschleunigung ist durch die strichlierte Linie gezeigt). Die Spindelachse **12** nimmt in der Zielgewindetiefe eine aktuelle Geschwindigkeit **Vc** von **0** an. Dies bedeutet, dass die Achse in dieser Zeitinstanz ruht, bedeutet jedoch nicht, dass die Achse in der Zielgewindetiefe kontinuierlich stoppt.

[0067] Die Position des Punkts **C** der Spindelachse **12** kann willkürlich festgelegt werden. Wie beispielsweise in **Fig. 11** gezeigt, kann Punkt **C** auf Punkt **B** festgelegt werden, d. h. auf den gleichen Punkt, an dem die Entschleunigungsdrehung bei maximaler Entschleunigung **A0** während der Schneidbewegung begonnen wurde. Punkt **C** ist in diesem Fall die Position, die von der Zielgewindetiefe durch Umkehrdrehung in einer Drehhöhe erreicht wird, die $|S_r| = Vb^2 / |A0| / 120$ entspricht. Gemäß dieser Konfiguration, wie in **Fig. 11** gezeigt, können die Schneidbewegung (Zeiträume **T1** bis **T4**) der Spindelachse **12** vom Prozessbeginn zum Erreichen der Zielgewindetiefe über Punkt **B** und die Rückwärtsbewegung (Zeiträume **T7** bis **T10**) von der Zielgewindetiefe zum Erreichen der Rückwärtsendposition über Punkt **C**, durch praktisch die gleiche Geschwindigkeit-Zeit-Kurve dargestellt werden, mit der Ausnahme, dass das Vorzeichen der Geschwindigkeit entgegengesetzt ist. Anders ausgedrückt führt die Spindelachse **12** eine beschleunigte Umkehrdrehung bei konstanter Beschleunigung **A0** während des Zeitraums **T7** wie während des Zeitraums **T1** durch, in dem die Spindelachse eine beschleunigte Drehung bei konstanter Beschleunigung **A0** durchführt. Streng genommen ist die maximale Entschleunigung **A0** (Zeitraum **T4**) während der entschleunigten Drehung bei maximaler Kapazität durch Positionssteuerung aufgrund von Steuercharakteristika im Vergleich zur maximalen Beschleunigung **A0** (Zeitraum **T1**) während der beschleunigten Drehung bei maximaler Kapazität durch Geschwindigkeitssteuerung jedoch geringfügig gedrückt. In der Folge neigt die maximale Umkehrdrehbeschleunigung **A0'** während des Zeitraums **T7** auch dazu, im Vergleich zur maximalen Beschleunigung **A0** während des Zeitraums **T1** geringfügig verringert zu sein.

[0068] Während der Spindelachsensteuerabschnitt **18** die Drehbewegung der Spindelachse **12** von der Prozessbeginnsposition zur Zielgewindetiefe steuert, steuert der Vorschubachsensteuerabschnitt **22** ei-

ne Vorschubbewegung der Vorschubachse **14**, so dass diese der Bewegung der Spindelachse **12** folgt, auf Basis der Drehposition FBS der Spindelachse **12**. Während der Spindelachsensteuerabschnitt **18** den Prozess in Schritt **U1** und **U2** durchführt, überwacht der numerische Steuerabschnitt **16** die Drehresthöhe S_r , die vom Spindelachsensteuerabschnitt **18** bekanntgegeben wird, und bestimmt, dass der Gewindebohrprozess die Zielgewindetiefe erreicht hat, wenn die Drehresthöhe S_r einem ersten vordefinierten Wert (einem sehr kleinen Wert nahe null) entspricht oder geringer als dieser ist. Danach erhält der numerische Steuerabschnitt **16** (Spindelachsenbefehlausgabeabschnitt **26**), nachdem bestimmt wurde, dass der Gewindebohrprozess die Zielgewindetiefe erreicht hat, die Rückwärtsdrehgesamthöhe S_0' und die maximale Rückwärtsdrehgeschwindigkeit V_0' der Spindelachse **12** während des Zeitraums, wenn die Spindelachse von der Zielgewindetiefe zur Rückwärtsendposition arbeitet, aus den Befehlswerten der Gewindebohrprogramms **P**, die vom Programminterpretationsabschnitt **24** interpretiert werden, parallel zu Schritt **U2** und sendet die Rückwärtsdrehgesamthöhe S_0' und die maximale Rückwärtsdrehgeschwindigkeit V_0' als Spindelachsenbefehl CS in Schritt **U3** an den Spindelachsensteuerabschnitt **18**.

[0069] Nachdem die Spindelachse **12** die vordefinierte Drehposition (Punkt **C**) erreicht hat, beschleunigt der Spindelachsensteuerabschnitt **18** (Ausgangsbewegungssteuerabschnitt **30**) in Schritt **U4** eine Drehung der Spindelachse **12** unter Abzielen auf die maximale Rückwärtsdrehgeschwindigkeit V_0' als Zielgeschwindigkeit bei maximaler Kapazität unter Verwendung des maximal zulässigen Stroms der Antriebsquelle, um eine Rückwärtsbewegung von der vordefinierten Drehposition (Punkt **C**) zur Rückwärtsendposition durchzuführen. Der Spindelachsensteuerabschnitt **18** (Abschnitt **34** zum Erkennen einer Restdrehhöhe) erkennt auf Basis der Rückwärtsdrehgesamthöhe S_0' und der Drehposition FBS sukzessive die Rückwärtsdrehresthöhe S_r' der Spindelachse **12** von der aktuellen Position zur Rückwärtsendposition. Die erkannte Rückwärtsdrehresthöhe S_r' wird dem numerischen Steuerabschnitt **18** durch den Spindelachsensteuerabschnitt **16** mitgeteilt, und zwar jedes Mal, wenn diese erkannt wird.

[0070] Danach führt die Steuereinheit **10** die Schritte **S12** bis **S18** durch, die in **Fig. 7** gezeigt sind (Schritt **U5**). Bei dem Betriebsbeispiel in **Fig. 11** erkennt der Spindelachsensteuerabschnitt **18** (Abschnitt **36** zum Erkennen einer aktuellen Geschwindigkeit) sukzessive die aktuelle Umkehdrehgeschwindigkeit V_c' auf Basis der Drehposition FBS während der entschleunigten Drehung bei maximaler Kapazität (Zeitraum **T8**) und beurteilt, ob die aktuelle Geschwindigkeit V_c' die maximale Rückwärtsdrehgeschwindigkeit V_0' erreicht hat, und zwar jedes Mal, wenn diese erkannt wird (Schritt **S12**). Wenn die V_c' die V_0' noch nicht er-

reicht hat, beurteilt der Spindelachsensteuerabschnitt **18**, ob die Rückwärtsdrehresthöhe S_r' der Hälfte der Gesamtrückdrehhöhe S_0' entspricht oder geringer als diese ist (Schritt **S13**). Wenn S_r' der Hälfte von S_0' entspricht oder geringer als diese ist, veranlasst der Spindelachsensteuerabschnitt **18** die Spindelachse **12**, eine entschleunigte Umkehdrehung bei maximaler Kapazität unter Verwendung des maximal zulässigen Stroms der Antriebsquelle durchzuführen, um die Rückwärtsbewegung fortzusetzen (Schritt **S14**).

[0071] In dem Beispiel, das in **Fig. 11** gezeigt ist, verringert sich die Umkehdrehbeschleunigung der Spindelachse **12**, da die aktuelle Umkehdrehgeschwindigkeit der Spindelachse **12** V_b übersteigt (negativen Wert), nachdem sie die vordefinierte Drehposition (Punkt **C**) erreicht hat, jedoch schrittweise von der A_0' bei beschleunigter Umkehdrehung bei maximaler Kapazität, z. B. aufgrund der Charakteristika des Spindelmotors (Zeitraum **T8**). Zum Zeitpunkt **D**, wenn die Rückwärtsdrehresthöhe S_r' die Hälfte der Rückwärtsdrehgesamthöhe S_0' erreicht hat (d. h., wenn die Drehhöhe von der Zielgewindetiefe die Hälfte der Rückwärtsdrehgesamthöhe S_0' erreicht hat), ändert sich die Bewegung der Spindelachse **12** von einer beschleunigten Umkehdrehung zu einer entschleunigten Umkehdrehung, so dass die Spindelachse **12** eine entschleunigte Umkehdrehung bei maximaler Kapazität während eines Zeitraums **T3** durchführt. Auf diese Weise führt der Spindelachsensteuerabschnitt **18** während der Zeiträume **T8** bis **T9** eine Geschwindigkeitssteuerung der Spindelachse **12** durch (der schrittweise Geschwindigkeitsbefehl ist durch die strichlierte Linie veranschaulicht).

[0072] Danach beurteilt der Spindelachsensteuerabschnitt **18** (Positionierungsbewegungssteuerabschnitt **38**), ob der absolute Wert $|S_r'|$ der Rückwärtsdrehresthöhe S_r' in der aktuellen Position der Spindelachse **12** $|S_r'| = V_b^2 / |A_0'| / 120$ erfüllt (d. h., ob die Drehposition der Spindelachse **12** Punkt **E** erreicht hat, **Fig. 11**) (Schritt **S15**). Wenn $|S_r'| = V_b^2 / |A_0'| / 120$ erfüllt ist, erzeugt der Spindelachsensteuerabschnitt **18** (Positionierungsbewegungssteuerabschnitt **38**) einen Befehl, um die Spindelachse **12** zu veranlassen, eine entschleunigte Umkehdrehung bei maximaler Entschleunigung A_0' durchzuführen (der Wert, der der maximalen Umkehdrehbeschleunigung A_0' während des Zeitraums **T7** entspricht) und an dem Punkt zu stoppen, an dem $S_r' = 0$ (d. h. der Rückwärtsendposition), und führt eine Positionssteuerung an der Spindelachse **12** gemäß dieses Befehls durch (Schritt **S16**). Die Spindelachse **12** führt gemäß dem Befehl vom Spindelachsensteuerabschnitt **18** (Positionierungsbewegungssteuerabschnitt **38**) eine entschleunigte Umkehdrehung bei maximaler Entschleunigung A_0' durch, um zur Rückwärtsendposition zurückzukehren, und stoppt zu dem Zeitpunkt, wenn S_r' gleich 0 ist. Auf diese Weise führt der Spindelachsensteuerabschnitt **18** während eines

Zeitraums **T10** (**Fig. 11**) von Punkt E bis zum Erreichen der der Rückwärtsendposition eine Positionssteuerung an der Spindelachse **12** durch (der Geschwindigkeitsbefehl konstanter Beschleunigung ist durch die strichlierte Linie gezeigt).

[0073] Während der Spindelachsensteuerabschnitt **18** die Umkehrdrehbewegung der Spindelachse **12** von der Zielgewindetiefe zur Rückwärtsendposition steuert, steuert der Vorschubachsensteuerabschnitt **22** eine Umkehrschubbewegung der Vorschubachse **14**, so dass diese der Bewegung der Spindelachse **12** folgt, auf Basis der Drehposition FBS der Spindelachse **12**. Während der Spindelachsensteuerabschnitt **18** den Prozess von Schritt **U3** bis Schritt **U5** durchführt, überwacht der numerische Steuerabschnitt **16** die Rückwärtsdrehresthöhe **Sr'**, die vom Spindelachsensteuerabschnitt **18** bekanntgegeben wird, und bestimmt, dass die Rückwärtsbewegung fertiggestellt ist und das Werkzeug aus dem Werkstück herausgezogen wurde, wenn die Rückwärtsdrehresthöhe **Sr'** einem zweiten vordefinierten Wert (einem sehr kleinen Wert nahe null) entspricht oder geringer als dieser ist.

[0074] **Fig. 12** zeigt eine Geschwindigkeit-Zeit-Kurve der Bewegung der Spindelachse **12**, wenn die aktuelle Geschwindigkeit **Vc** die maximale Drehgeschwindigkeit **V0** erreicht hat, bevor die Drehresthöhe **Sr** die Hälfte der Drehgesamthöhe **S0** während der Schneidbewegung erreicht hat (wenn die Beurteilung in Schritt **S3** in **Fig. 2** Nein ist). Die Bewegungen der Spindelachse **12** während Zeiträumen **T1**, **T2**, **T3**, **T4** und **T5** in der Geschwindigkeit-Zeit-Kurve in **Fig. 12** entspricht den Bewegungen der Spindelachse **12** während Zeiträumen **T1**, **T2**, **T3**, **T4** und **T5** in der Geschwindigkeit-Zeit-Kurve in **Fig. 4**, wie oben beschrieben. Anders ausgedrückt wird, wie in **Fig. 12** gezeigt, die Spindelachse **12** veranlasst, eine beschleunigte Drehung bei maximaler Kapazität während Zeiträumen **T1** und **T2** durchzuführen, so dass die aktuelle Geschwindigkeit **Vc** der Spindelachse **12** die maximale Drehgeschwindigkeit **V0** erreicht, dreht sich die Spindelachse **12** danach mit der fixen Geschwindigkeit **V0** über den Zeitraum **T5**, um das Gewindebohren fortzusetzen, und ändert sich die Bewegung der Spindelachse **12** von einer beschleunigten Drehung zu einer entschleunigten Drehung zum Zeitpunkt **A**, wenn die Drehresthöhe **Sr** der Beschleunigungsdrehhöhe **Sa** entspricht, so dass die Spindelachse **12** veranlasst wird, eine entschleunigte Drehung bei maximaler Kapazität während des Zeitraums **T3** durchzuführen, und wird eine Positionssteuerung an der Spindelachse **12** während des Zeitraums **T4** durchgeführt.

[0075] Während die Steuereinheit **10** den Schritt **U1** (Schritt **S1** bis **S2** bis **S3** bis **S8** bis **S9** bis **S5** bis **S6**, in dieser Reihenfolge, in **Fig. 2**) durchführt, arbeitet die Spindelachse **12** während der Zeiträume **T1**, **T2**,

T3, **T4** und **T5**, die in **Fig. 12**) gezeigt sind, auf die gleiche Weise wie der Betrieb während der Zeiträume **T1**, **T2**, **T3**, **T4** und **T5**, die in **Fig. 4** gezeigt sind. Wenn der Spindelachsensteuerabschnitt **18** (Positionierungsbewegungssteuerabschnitt **38**) in Schritt **S6** in **Fig. 2** jedoch bestimmt, dass der absolute Wert $|Sr|$ der Drehresthöhe in der aktuellen Position der Spindelachse **12** $|Sr| = Vb^2 / |A0| / 120$ erfüllt (d. h., dass die Drehposition der Spindelachse **12** Punkt **B** erreicht hat), erzeugt die Steuereinheit in Schritt **U2** (**Fig. 10**) einen Befehl, der die Spindelachse **12** kontinuierlich veranlasst, eine beschleunigte Umkehrdrehung bei maximaler Beschleunigung **A0'** gleich der maximalen Entschleunigung **A0** auf die vordefinierte Drehposition (entspricht Punkt C in **Fig. 12**) durchzuführen, nachdem die Spindelachse **12** veranlasst wurde, eine entschleunigte Drehung bei maximaler Entschleunigung **A0** durchzuführen, um den Punkt zu erreichen, der $Sr = 0$ entspricht (d. h. die Zielgewindetiefe), und führt eine Positionssteuerung an der Spindelachse **12** gemäß diesem Befehl durch.

[0076] Wie in **Fig. 12** gezeigt, führt die Spindelachse **12** gemäß dem Befehl vom Spindelachsensteuerabschnitt **18** (Positionierungsbewegungssteuerabschnitt **38**) eine Schneidbewegung von Punkt **B** hin zur Zielgewindetiefe mit entschleunigter Drehung bei maximaler Entschleunigung **A0** durch und erreicht die Zielgewindetiefe, wenn **Sr 0** wird (Zeitraum **T4**). In dem Moment, in dem die Spindelachse **12** die Zielgewindetiefe erreicht hat, entspricht die aktuelle Geschwindigkeit **Vc** der Spindelachse **12** null, die Spindelachse **12** hält jedoch gemäß dem Befehl vom Spindelachsensteuerabschnitt **18** (Positionierungsbewegungssteuerabschnitt **38**) die maximale Entschleunigung **A0** oder dreht sich in Umkehrrichtung bei maximaler Beschleunigung **A0'**, führt eine beschleunigte Umkehrdrehung durch, die die aktuelle Geschwindigkeit **Vc** schrittweise erhöht (negativer Wert), um somit eine Rückwärtsbewegung von der Zielgewindetiefe hin zu Punkt **C** über einen Zeitraum **T7** durchzuführen. Auf diese Weise führt der Spindelachsensteuerabschnitt **18** während des Zeitraums **T4**, in dem sich die Spindelachse **12** von Punkt **B** zur Zielgewindetiefe bewegt, und während des Zeitraums **T7**, in dem sich die Spindelachse von der Zielgewindetiefe zu Punkt **C** bewegt, eine Positionssteuerung an der Spindelachse **12** durch (Schritt **U2**) und bewegt die Spindelachse **12** bei konstanter Beschleunigung **A0** kontinuierlich (der Geschwindigkeitsbefehl der konstanten Beschleunigung ist durch die strichlierte Linie gezeigt). Die Betriebe der Spindelachse **12** während der Zeiträume **T4** und **T7** sind die gleichen wie die Betriebe der Spindelachse **12** während der Zeiträume **T4** und **T7**, die in **Fig. 11** gezeigt sind.

[0077] Danach führt die Steuereinheit **10** die Schritte **U3** und **U4** in **Fig. 10** durch. In Schritt **U5** wird die Spindelachse **12** veranlasst, eine beschleunigte Um-

kehrdrehung bei maximaler Kapazität während des Zeitraums **T8** durchzuführen, wie in **Fig. 12** gezeigt, so dass die aktuelle Geschwindigkeit **Vc'** (negativer Wert) der Spindelachse **12** die maximale Rückwärtsdrehgeschwindigkeit **V0'** (negativer Wert) erreicht, danach wird die Spindelachse **12** kontinuierlich umgekehrt mit der fixen Geschwindigkeit **V0'** gedreht, um die Rückwärtsbewegung über den Zeitraum **T11** fortzusetzen. Zum Zeitpunkt **D**, wenn die Rückwärtsdrehresthöhe **Sr'** der Beschleunigungsresthöhe **Sa'** entspricht, ändert sich die Bewegung der Spindelachse **12** von einer beschleunigten Drehung zu einer entschleunigten Drehung und wird die Spindelachse **12** veranlasst, eine entschleunigte Umkehrdrehung bei maximaler Kapazität während des Zeitraums **T9** durchzuführen. Während des Zeitraums **T10** wird die Spindelachse **12** auf die Rückwärtsendposition positionsgesteuert. Die Bewegung der Spindelachse **12** während der Zeiträume **T8**, **T9** und **T10** ist die gleiche wie die Bewegung der Spindelachse **12** während der Zeiträume **T8**, **T9** und **T10**, die in **Fig. 11** gezeigt sind.

[0078] Während der Spindelachsensteuerabschnitt **18** die Umkehrdrehbewegung der Spindelachse **12** von der Zielgewindetiefe zur Rückwärtsendposition steuert, steuert der Vorschubachsensteuerabschnitt **22** eine Umkehrschubbewegung der Vorschubachse **14**, so dass diese der Bewegung der Spindelachse **12** folgt, auf Basis der Drehposition FBS der Spindelachse **12**. Während der Spindelachsensteuerabschnitt **18** den Prozess von Schritt **U3** bis Schritt **U5** durchführt, überwacht der numerische Steuerabschnitt **16** die Rückwärtsdrehresthöhe **Sr'**, die vom Spindelachsensteuerabschnitt **18** bekanntgegeben wird, und bestimmt, dass die Rückwärtsbewegung fertiggestellt ist und das Werkzeug aus dem Werkstück herausgezogen wurde, wenn die Rückwärtsdrehresthöhe **Sr'** einem zweiten vordefinierten Wert (einem sehr kleinen Wert nahe null) entspricht oder geringer als dieser ist.

[0079] Ähnlich den Steuereinheiten **10**, **40** und **50** der in den **Fig. 1** bis **Fig. 9** gezeigten Ausführungsform ist die Steuereinheit **10** gemäß der in den **Fig. 10** bis **Fig. 12** gezeigten Ausführungsform so konfiguriert, dass, wenn die Spindelachse **12** veranlasst wird, eine Schneidbewegung von der Prozessbeginnposition zur Zielgewindetiefe durchzuführen, der numerische Steuerabschnitt **16** die Drehgesamthöhe **S0** und die maximale Drehgeschwindigkeit **V0** der Spindelachse **12** allein als Spindelachsenbefehl CS an den Spindelachsensteuerabschnitt **18** sendet; der Spindelachsensteuerabschnitt **18** die Schneidbewegung gemäß diesem Spindelachsenbefehl **CS** durch Beschleunigen der Spindelachse **12** bei maximaler Leistung unter Verwendung eines maximal zulässigen Stroms unter Abzielen auf die maximale Drehgeschwindigkeit **V0** durchführt; und entschleunigt der Spindelachsensteuerabschnitt auf Basis der maximalen Beschleunigung **A0** während des Beschleuni-

gungszeitraums, der Drehresthöhe **Sr** und aktuellen Geschwindigkeit **Vc** der Spindelachse **12**, die sukzessive erkannt werden, die Spindelachse **12** bei maximaler Entschleunigung **A0**, um somit die Schneidbewegung zur Zielgewindetiefe in der kürzesten Zeit fortzusetzen und die Zielgewindetiefe zu erreichen. Aus diesem Grund ist es gemäß der Steuereinheit **10** nicht länger erforderlich, eine Parametereinstellung, -anpassung und Anderes durchzuführen, um Beschleunigungs- und Entschleunigungsbefehle für den numerischen Steuerabschnitt **16** zu erzeugen, um die Ausgabecharakteristika der Spindelachse **12** zu berücksichtigen, und somit ist es möglich, die Gewindebohrzykluszeit mit der einfacheren Konfiguration durch Durchführen einer Beschleunigungs- und Entschleunigungssteuerung zu verringern, die die Beschleunigungskapazität der Spindelachse **12** maximieren kann.

[0080] Die Steuereinheit **10** gemäß der in den **Fig. 10** bis **Fig. 12** gezeigten Ausführungsform ist so konfiguriert, dass, wenn die Spindelachse **12** veranlasst wird, eine Rückwärtsbewegung von der Zielgewindetiefe zur Rückwärtsendposition durchzuführen, die Spindelachse **12** in der Zielgewindetiefe am Ende des Schneidens nicht gestoppt wird (anders ausgedrückt wird die Spindelachse bei Nicht-Null-Beschleunigung gedreht), sondern diese veranlasst wird, eine beschleunigte Umkehrdrehung bei maximaler Umkehrdrehbeschleunigung **A0'** (negativer Wert) gleich der maximalen Entschleunigung **A0** (negativer Wert) durchzuführen, so dass die Spindelachse **12** auf die vordefinierte Drehposition positionsgesteuert wird. Mit dieser Konfiguration bleibt die Beschleunigung der Spindelachse **12** unverändert, wenn der Betrieb der Spindelachse **12** vom Schneidmodus zur Rückwärtsbewegung geändert wird, so dass keine mechanische und strukturelle Einwirkungen in der Spindelachse **12** aufgrund einer Änderung der Beschleunigung entstehen und eine Erhöhung des Synchronisationsfehlers zwischen der Spindelachse **12** und der Vorschubachse **14**, die auf eine Änderung der Beschleunigung zurückzuführen ist, verhindert werden kann. Im Rückwärtskehrbetrieb der Spindelachse **12**, der in **Fig. 7** gezeigt ist, besteht, da die Geschwindigkeitskontrolle an der Spindelachse **12** derart durchgeführt wird, dass die Spindelachse **12** in der Zielgewindetiefe am Ende der Schneidbewegung gestoppt wird (anders ausgedrückt wird die Beschleunigung auf null festgelegt) und diese danach veranlasst wird, eine beschleunigte Umkehrdrehung bei maximaler Leistung von der Zielgewindetiefe durchzuführen, das Risiko, dass sich mechanische und strukturelle Einwirkungen und Synchronisationsfehler aufgrund des Wechsels von dem Geschwindigkeitsbefehl (Positionsteuerung) einer konstanten Beschleunigung zum schrittweisen Geschwindigkeitsbefehl (Geschwindigkeitssteuerung) und/oder aufgrund einer Änderung der Reibungskraft von statischer Reibung zu kineti-

scher Reibung zwischen den Komponenten in der Maschine erhöhen.

[0081] Die Steuereinheit **10** gemäß der in den **Fig. 10** bis **Fig. 12** gezeigten Ausführungsform ist so konfiguriert, dass, nachdem die Spindelachse **12** veranlasst wurde, eine beschleunigte Umkehrdrehung durch Positionssteuerung bis zu einer vordefinierten Position durchzuführen, ein Rückwärtskehrbetrieb durch Beschleunigen der Spindelachse **12** bei maximaler Leistung gemäß dem Spindelachsenbefehl CS durchgeführt wird, der die Rückwärtsdrehgesamthöhe **S0'** und die maximale Rückwärtsdrehgeschwindigkeit **V0'** der Spindelachse **12** allein enthält und vom numerischen Steuerabschnitt **16** an den Spindelachsensteuerabschnitt **18** bekanntgegeben wurde, und die Spindelachse **12** wird veranlasst, bei maximaler Entschleunigung **A0'** entsprechend der maximalen Umkehrdrehbeschleunigung **A0'** zum Zeitpunkt des Umkehrens der Bewegung zu entschleunigen, die Rückwärtsbewegung zur Rückwärtsendposition in der kürzesten Zeit fortzusetzen und in der Rückwärtsendposition zu stoppen. Aus diesem Grund ist es gemäß der Steuereinheit **10** nicht länger erforderlich, eine Parametereinstellung, -anpassung und Anderes durchzuführen, um Beschleunigungs- und Entschleunigungsbefehle für den numerischen Steuerabschnitt **16** zu erzeugen, um die Ausgabecharakteristika der Spindelachse **12** zu berücksichtigen, und somit ist es möglich, die Gewindebohrzykluszeit mit einer einfacheren Konfiguration durch Durchführen einer Beschleunigungs- und Entschleunigungssteuerung zu verringern, die die Beschleunigungskapazität der Spindelachse **12** maximieren kann.

[0082] Die Konfiguration der Steuereinheit **10** der in den **Fig. 10** bis **Fig. 12** gezeigten Ausführungsform kann als Werkzeugmaschinensteuerverfahren zum Steuern eines synchronisierten Betriebs der Spindelachse **12** und der Vorschubachse **14** beschrieben werden. Dieses Steuerverfahren umfasst die von der Steuereinheit **10** durchgeführten Aktionen des Erhaltens einer Drehgesamthöhe **S0** und einer maximalen Drehgeschwindigkeit **V0** der Spindelachse **12** während eines Zeitraums, wenn die Spindelachse **12** von einer Prozessbeginnposition in eine Zielgewindetiefe arbeitet, von einem Gewindebohrprogramm **P**; des Veranlassens der Spindelachse **12**, eine beschleunigte Drehung bei maximaler Kapazität von der Prozessbeginnposition hin zur Zielgewindetiefe durchzuführen, wobei eine maximale Drehgeschwindigkeit **V0** als Zielwert festgelegt ist; des Erkennens einer maximalen Beschleunigung **A0** während der beschleunigten Drehung bei maximaler Kapazität auf Basis des Drehpositionsfeedbacks FBS der Spindelachse **12**; des Erkennens einer Drehresthöhe **Sr** der Spindelachse **12** während des Zeitraums, wenn die Spindelachse von einer aktuellen Position zur Zielgewindetiefe arbeitet, auf Basis der Drehgesamthöhe

S0 und des Drehpositionsfeedbacks FBS; des Erkennens einer aktuellen Geschwindigkeit **Vc** der Spindelachse **12** auf Basis des Drehpositionsfeedbacks FBS; des Veranlassens der Spindelachse **12**, eine entschleunigte Drehung bei maximaler Kapazität, um die Zielgewindetiefe zu erreichen, nach der beschleunigten Drehung bei maximaler Kapazität auf Basis der maximalen Beschleunigung **A0**, der Drehresthöhe **Sr** und der aktuellen Geschwindigkeit **Vc** durchzuführen; und des Veranlassens der Spindelachse **12**, eine beschleunigte Umkehrdrehung bis zu einer vordefinierten Position bei maximaler Umkehrdrehbeschleunigung **A0'** (negativer Wert) gleich der maximalen Entschleunigung **A0** (negativer Wert) durchzuführen, ohne die Spindelachse **12** in der Zielgewindetiefe zu stoppen.

[0083] Bei diesem Steuerverfahren umfasst die Steuereinheit **10** des Weiteren die Aktionen des Erhaltens einer Rückwärtsdrehgesamthöhe **S0'** und einer maximalen Rückwärtsdrehgeschwindigkeit **V0'** der Spindelachse **12** während eines Zeitraums, wenn die Spindelachse **12** von der Zielgewindetiefe zur Rückwärtsendposition arbeitet, von einem Gewindebohrprogramm **P**; des Veranlassens der Spindelachse **12**, eine beschleunigte Umkehrdrehung bei maximaler Kapazität von der vordefinierten Drehposition hin zur Rückwärtsendposition durchzuführen, wobei die maximale Rückwärtsdrehgeschwindigkeit **V0'** als Zielwert festgelegt ist; des Erkennens einer Rückwärtsdrehresthöhe **Sr'** der Spindelachse **12** von der aktuellen Position zur Rückwärtsendposition auf Basis der Rückwärtsdrehgesamthöhe **S0'** und des Drehpositionsfeedbacks FBS der Spindelachse **12**; des Erkennens einer aktuellen Umkehrdrehgeschwindigkeit **Vc'** der Spindelachse **12** auf Basis des Drehpositionsfeedbacks FBS; und des Veranlassens der Spindelachse **12**, eine entschleunigte Umkehrdrehung bei maximaler Kapazität, um eine Rückwärtsendposition zu erreichen und in dieser zu stoppen, nach der beschleunigten Umkehrdrehung bei maximaler Kapazität auf Basis der maximalen Umkehrdrehbeschleunigung **A0'** (negativer Wert), der Rückwärtsdrehresthöhe **Sr'** und der aktuellen Umkehrdrehgeschwindigkeit **Vc'** durchzuführen.

Patentansprüche

1. Steuereinheit für eine Werkzeugmaschine, die so konfiguriert ist, dass sie einen synchronisierten Betrieb einer Spindelachse (12) und einer Vorschubachse (14) steuert, wobei die Steuereinheit umfasst: einen numerischen Steuerabschnitt (16), der so konfiguriert ist, dass er einen Spindelachsenbefehl (CS) und einen Vorschubachsenbefehl (CF) auf Basis eines Gewindebohrprogramms (P) generiert; einen Spindelachsensteuerabschnitt (18), der so konfiguriert ist, dass er eine Drehbewegung der Spindelachse (12) gemäß dem Spindelachsenbefehl (CS) steuert;

einen Dreherkennungsabschnitt (20), der so konfiguriert ist, dass er eine Drehposition (FBS) der Spindelachse (12) erkennt; und

einen Vorschubachsensteuerabschnitt (22), der so konfiguriert ist, dass er eine Vorschubbewegung der Vorschubachse (14) gemäß dem Vorschubachsenbefehl (CF) auf Basis der Drehposition (FBS) steuert; wobei der numerische Steuerabschnitt (16) umfasst: einen Spindelachsenbefehlausgabeabschnitt (26), der so konfiguriert ist, dass er vom Gewindebohrprogramm (P) eine Drehgesamthöhe (S0) und eine maximale Drehgeschwindigkeit (V0) der Spindelachse (12) während eines Zeitraums erhält, wenn die Spindelachse von einer Prozessbeginnposition in eine Zielgewindetiefe arbeitet, und dass er die Drehgesamthöhe (S0) und die maximale Drehgeschwindigkeit (V0) als Spindelachsenbefehl (CS) an den Spindelachsensteuerabschnitt (18) sendet;

wobei der Spindelachsensteuerabschnitt (18) umfasst:

einen Anfangsbewegungssteuerabschnitt (30), der so konfiguriert ist, dass er die Spindelachse (12) veranlasst, eine beschleunigte Drehung bei maximaler Kapazität durch Verwenden eines maximal zulässigen Stroms einer Antriebsquelle durchzuführen, von der Prozessbeginnposition hin zur Zielgewindetiefe, wobei die maximale Drehgeschwindigkeit (V0) als Zielwert festgelegt ist;

einen Abschnitt (32) zum Erkennen einer maximalen Beschleunigung, der so konfiguriert ist, dass er eine maximale Beschleunigung (A0) während der beschleunigten Drehung bei maximaler Kapazität auf Basis der Drehposition (FBS) erkennt;

einen Drehresthöhenerkennungsabschnitt (34), der so konfiguriert ist, dass er eine Drehresthöhe (Sr) der Spindelachse (12) während eines Zeitraums, wenn die Spindelachse von einer aktuellen Position zur Zielgewindetiefe arbeitet, auf Basis der Drehgesamthöhe (S0) und der Drehposition (FBS) erkennt;

einen Abschnitt (36) zum Erkennen einer aktuellen Geschwindigkeit, der so konfiguriert ist, dass er eine aktuelle Geschwindigkeit (Vc) der Spindelachse (12) auf Basis der Drehposition (FBS) erkennt; und

einen Positionierungsbewegungssteuerabschnitt (38), der so konfiguriert ist, dass er die Spindelachse (12) veranlasst, eine entschleunigte Drehung bei maximalem Bremsen entsprechend der maximalen Beschleunigung durchzuführen, um die Zielgewindetiefe zu erreichen, nach der beschleunigten Drehung bei maximaler Kapazität auf Basis der maximalen Beschleunigung (AO), der Drehresthöhe (Sr) und der aktuellen Geschwindigkeit (Vc).

2. Steuereinheit nach Anspruch 1, die des Weiteren einen Vorschuberkennungsabschnitt (42) umfasst, der so konfiguriert ist, dass er eine Vorschubposition (FBF) der Vorschubachse (14) erkennt; wobei der numerische Steuerabschnitt (16) umfasst:

einen Vorschubachsenbefehlausgabeabschnitt (28), der so konfiguriert ist, dass er vom Gewindebohrprogramm (P) eine Vorschubgesamtmenge (D0) und eine Gewindesteigung (Pt) der Vorschubachse (14) während eines Zeitraums erhält, wenn die Vorschubachse von der Prozessbeginnposition zur Zielgewindetiefe arbeitet, und dass er die Vorschubgesamtmenge (D0) und die Gewindesteigung (Pt) als Vorschubachsenbefehl (CS) an den Vorschubachsensteuerabschnitt (22) sendet; und

wobei der Vorschubachsenabschnitt (22) umfasst: einen Vorschubbewegungssteuerabschnitt (44), der so konfiguriert ist, dass er die Vorschubbewegung der Vorschubachse (14) auf Basis der Gewindesteigung (Pt) und der Drehposition (FBS) steuert; und einen Vorschubrestmengenerkennungsabschnitt (46), der so konfiguriert ist, dass er eine Vorschubrestmenge (Dr) der Vorschubachse (14) während eines Zeitraums, wenn die Vorschubachse von einer aktuellen Position zur Zielgewindetiefe arbeitet, auf Basis der Vorschubgesamtmenge (D0) und der Vorschubposition (FBS) erkennt.

3. Steuereinheit nach Anspruch 2, wobei der numerische Steuerabschnitt (16) einen Positionserkennungsabschnitt (48) umfasst, der so konfiguriert ist, dass er die aktuelle Position der Spindelachse (12) auf Basis der Drehresthöhe (Sr) erkennt, und auch so, dass er die aktuelle Position der Vorschubachse (14) auf Basis der Vorschubrestmenge (Dr) erkennt.

4. Steuereinheit nach Anspruch 2 oder 3, wobei der numerische Steuerabschnitt (16) einen Synchronisationsfehlerberechnungsabschnitt (52) umfasst, der so konfiguriert ist, dass er einen Synchronisationsfehler im synchronisierten Betrieb auf Basis der Drehresthöhe (Sr), der Vorschubrestmenge (Dr) und der Gewindesteigung (Pt) berechnet.

5. Steuereinheit nach Anspruch 1, wobei der Positionierungsbewegungssteuerabschnitt (38) so konfiguriert ist, dass er die Spindelachse (12) veranlasst, in der Zielgewindetiefe zu stoppen.

6. Steuereinheit nach Anspruch 5, wobei der numerische Steuerabschnitt (16) so konfiguriert ist, dass er die Drehresthöhe (Sr) überwacht und beurteilt, dass ein Gewindebohrprozess die Zielgewindetiefe erreicht, wenn die Drehresthöhe (Sr) einen ersten vordefinierten Wert erreicht oder diesen unterschreitet;

wobei der Spindelachsenbefehlausgabeabschnitt (26) so konfiguriert ist, dass er vom Gewindebohrprogramm (P) eine Rückwärtsdrehgesamthöhe (SO') und eine maximale Rückwärtsdrehgeschwindigkeit (VO') der Spindelachse (12) während eines Zeitraums erhält, wenn die Spindelachse von der Zielgewindetiefe zu einer Rückwärtsendposition arbeitet, und die Rückwärtsdrehgesamthöhe (SO') und die maximale Rückwärtsdrehgeschwindigkeit (VO')

als Spindelachsenbefehl (CS) an den Spindelachsensteuerabschnitt (18) sendet;

wobei der Anfangsbewegungssteuerabschnitt (30) so konfiguriert ist, dass er die Spindelachse (12) veranlasst, eine beschleunigte Umkehrdrehung bei maximaler Kapazität durch Verwenden eines maximal zulässigen Stroms einer Antriebsquelle durchzuführen, von der Zielgewindetiefe hin zur Rückwärtsendposition, wobei die maximale Rückwärtsdrehgeschwindigkeit (VO') als Zielwert festgelegt ist;

wobei der Abschnitt (32) zum Erkennen einer maximalen Beschleunigung so konfiguriert ist, dass er eine maximale Umkehrdrehbeschleunigung (A0') während der beschleunigten Umkehrdrehung bei maximaler Kapazität auf Basis der Drehposition (FBS) erkennt;

wobei der Drehresthöhenenerkennungsabschnitt (34) so konfiguriert ist, dass er eine Rückwärtsdrehresthöhe (Sr') der Spindelachse (12) während eines Zeitraums, wenn die Spindelachse von einer aktuellen Position zur Rückwärtsendposition arbeitet, auf Basis der Rückwärtsdrehgesamthöhe (SO') und der Drehposition (FBS) erkennt;

wobei der Abschnitt (36) zum Erkennen einer aktuellen Geschwindigkeit so konfiguriert ist, dass er eine aktuelle Umkehrdrehgeschwindigkeit (Vc') der Spindelachse (12) auf Basis der Drehposition (FBS) erkennt; und

wobei der Positionierungsbewegungssteuerabschnitt (38) so konfiguriert ist, dass er die Spindelachse (12) veranlasst, eine entschleunigte Umkehrdrehung bei maximalem Bremsen entsprechend der maximalen Beschleunigung der Umkehrdrehung durchzuführen und in der Rückwärtsendposition zu stoppen, nach der beschleunigten Umkehrdrehung bei maximaler Kapazität auf Basis der maximalen Umkehrdrehbeschleunigung (A0'), der Rückwärtsdrehresthöhe (Sr') und der aktuellen Umkehrdrehgeschwindigkeit (Vc').

7. Steuereinheit nach Anspruch 1, wobei der Positionierungsbewegungssteuerabschnitt (38) so konfiguriert ist, dass er die Spindelachse (12) nicht veranlasst, in der Zielgewindetiefe zu stoppen, sondern dass er die Spindelachse (12) veranlasst, eine beschleunigte Umkehrdrehung durchzuführen, bis die Spindelachse eine vordefinierte Drehposition erreicht, bei maximaler Umkehrdrehbeschleunigung (A0'), die mit einer maximalen Entschleunigung (A0) während der entschleunigten Drehung bei maximaler Kapazität identisch ist.

8. Steuereinheit nach Anspruch 7, wobei der numerische Steuerabschnitt (16) so konfiguriert ist, dass er die Drehresthöhe (Sr) überwacht und beurteilt, dass ein Gewindebohrprozess die Zielgewindetiefe erreicht, wenn die Drehresthöhe (Sr) einen ersten vordefinierten Wert erreicht oder diesen unterschreitet;

wobei der Spindelachsenbefehlausgabeabschnitt (26) so konfiguriert ist, dass er vom Gewinde-

bohrprogramm (P) eine Rückwärtsdrehgesamthöhe (SO') und eine maximale Rückwärtsdrehgeschwindigkeit (VO') der Spindelachse (12) während eines Zeitraums erhält, wenn die Spindelachse von der Zielgewindetiefe zu einer Rückwärtsendposition arbeitet, und dass er die Rückwärtsdrehgesamthöhe (SO') und die maximale Rückwärtsdrehgeschwindigkeit (VO') als Spindelachsenbefehl (CS) an den Spindelachsensteuerabschnitt (18) sendet;

wobei der Anfangsbewegungssteuerabschnitt (30) so konfiguriert ist, dass er die Spindelachse (12) veranlasst, eine beschleunigte Umkehrdrehung bei maximaler Kapazität durch Verwenden eines maximal zulässigen Stroms einer Antriebsquelle durchzuführen, von der vordefinierten Drehposition hin zur Rückwärtsendposition, wobei die maximale Rückwärtsdrehgeschwindigkeit (VO') als Zielwert festgelegt ist; wobei der Drehresthöhenenerkennungsabschnitt (34) so konfiguriert ist, dass er eine Rückwärtsdrehresthöhe (Sr') der Spindelachse (12) während eines Zeitraums, wenn die Spindelachse von einer aktuellen Position zur Rückwärtsendposition arbeitet, auf Basis der Rückwärtsdrehgesamthöhe (SO') und der Drehposition (FBS) erkennt;

wobei der Abschnitt (36) zum Erkennen einer aktuellen Geschwindigkeit so konfiguriert ist, dass er eine aktuelle Umkehrdrehgeschwindigkeit (Vc') der Spindelachse (12) auf Basis der Drehposition (FBS) erkennt; und

wobei der Positionierungsbewegungssteuerabschnitt (38) so konfiguriert ist, dass er die Spindelachse (12) veranlasst, eine entschleunigte Umkehrdrehung bei maximalem Bremsen entsprechend der maximalen Beschleunigung der Umkehrdrehung durchzuführen und in der Rückwärtsendposition zu stoppen, nach der beschleunigten Umkehrdrehung bei maximaler Kapazität auf Basis der maximalen Umkehrdrehbeschleunigung (A0'), der Rückwärtsdrehresthöhe (Sr') und der aktuellen Umkehrdrehgeschwindigkeit (Vc').

9. Steuereinheit nach Anspruch 6 oder 8, wobei der numerische Steuerabschnitt (16) so konfiguriert ist, dass er die Rückwärtsdrehresthöhe (Sr') überwacht und beurteilt, dass eine Rückwärtsbewegung abgeschlossen ist, wenn die Rückwärtsdrehresthöhe (Sr') einen zweiten vordefinierten Wert erreicht oder diesen unterschreitet.

10. Steuereinheit nach Anspruch 6, 8 oder 9, die des Weiteren einen Vorschuberkennungsabschnitt (42) umfasst, der so konfiguriert ist, dass er eine Vorschubposition (FBF) der Vorschubachse (14) erkennt;

wobei der numerischen Steuerabschnitt (16) umfasst:

einen Vorschubachsenbefehlausgabeabschnitt (28), der so konfiguriert ist, dass er vom Gewindebohrprogramm (P) eine Rückwärtsschubgesamtmenge (D0') und eine Gewindesteigung (Pt) der Vorschubachse (14) während eines Zeitraums erhält, wenn die

Vorschubachse von der Zielgewindetiefe zur Rückwärtssendposition arbeitet, und dass er die Rückwärtsschubgesamtmenge ($D0'$) und die Gewindesteigung (Pt) als Vorschubachsenbefehl (CS) an den Vorschubachsensteuerabschnitt (22) sendet; und wobei der Vorschubachsenabschnitt (22) umfasst: einen Vorschubbewegungssteuerabschnitt (44), der so konfiguriert ist, dass er eine Rückwärtsschubbewegung der Vorschubachse (14) auf Basis der Gewindesteigung (Pt) und der Drehposition (FBS) steuert; und einen Vorschubrestmengenerkennungsabschnitt (46), der so konfiguriert ist, dass er eine Rückwärtsschubrestmenge (Dr') der Vorschubachse (14) während eines Zeitraums, wenn die Vorschubachse von einer aktuellen Position zur Rückwärtssendposition arbeitet, auf Basis der Rückwärtsschubgesamtmenge ($D0'$) und der Vorschubposition (FBS) erkennt.

11. Steuereinheit nach Anspruch 10, wobei der numerische Steuerabschnitt (16) einen Positionserkennungsabschnitt (48) umfasst, der so konfiguriert ist, dass er die aktuelle Position der Spindelachse (12) auf Basis der Rückwärtsdrehresthöhe (Sr) erkennt, und auch so, dass er die aktuelle Position der Vorschubachse (14) auf Basis der Rückwärtsschubrestmenge (Dr') erkennt.

12. Steuereinheit nach Anspruch 10 oder 11, wobei der numerische Steuerabschnitt (16) einen Synchronisationsfehlerberechnungsabschnitt (52) umfasst, der so konfiguriert ist, dass er einen Synchronisationsfehler im synchronisierten Betrieb auf Basis der Rückwärtsdrehresthöhe (Sr'), der Rückwärtsschubrestmenge (Dr') und der Gewindesteigung (Pt) berechnet.

13. Steuereinheit nach Anspruch 4 oder 12, wobei der numerische Steuerabschnitt (16) einen Anzeigesteuerabschnitt (56) umfasst, der so konfiguriert ist, dass er eine Anzeigeeinheit veranlasst, den Synchronisationsfehler anzuzeigen (54).

14. Verfahren zum Steuern einer Werkzeugmaschine, die so konfiguriert ist, dass sie einen synchronisierten Betrieb einer Spindelachse (12) und einer Vorschubachse (14) steuert, wobei das Verfahren die von einer Steuereinheit (10; 40; 50) ausgeführten Aktionen umfasst:

Erhalten einer Drehgesamthöhe ($S0$) und einer maximalen Drehgeschwindigkeit ($V0$) der Spindelachse (12) während eines Zeitraums, wenn die Spindelachse von einer Prozessbeginnposition in eine Zielgewindetiefe arbeitet, von einem Gewindebohrprogramm (P);

Veranlassen, dass die Spindelachse (12) eine beschleunigte Drehung bei maximaler Kapazität durch Verwenden eines maximal zulässigen Stroms einer Antriebsquelle durchführt, von der Prozessbeginnpo-

sition hin zur Zielgewindetiefe, wobei die maximale Drehgeschwindigkeit ($V0$) als Zielwert festgelegt ist; Erkennen einer maximalen Beschleunigung ($A0$) während der beschleunigten Drehung bei maximaler Kapazität auf Basis eines Drehpositionsfeedbacks (FBS) der Spindelachse (12);

Erkennen einer Drehresthöhe (Sr) der Spindelachse (12) während eines Zeitraums, wenn die Spindelachse von einer aktuellen Position zur Zielgewindetiefe arbeitet, auf Basis der Drehgesamthöhe ($S0$) und des Drehpositionsfeedbacks (FBS);

Erkennen einer aktuellen Geschwindigkeit (Vc) der Spindelachse (12) auf Basis des Drehpositionsfeedbacks (FBS); und

Veranlassen, dass die Spindelachse (12) eine entschleunigte Drehung bei maximalem Bremsen entsprechend der maximalen Beschleunigung durchführt, um die Zielgewindetiefe zu erreichen, nach der beschleunigten Drehung bei maximaler Kapazität auf Basis der maximalen Beschleunigung ($A0$), der Drehresthöhe (Sr) und der aktuellen Geschwindigkeit (Vc).

Es folgen 10 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

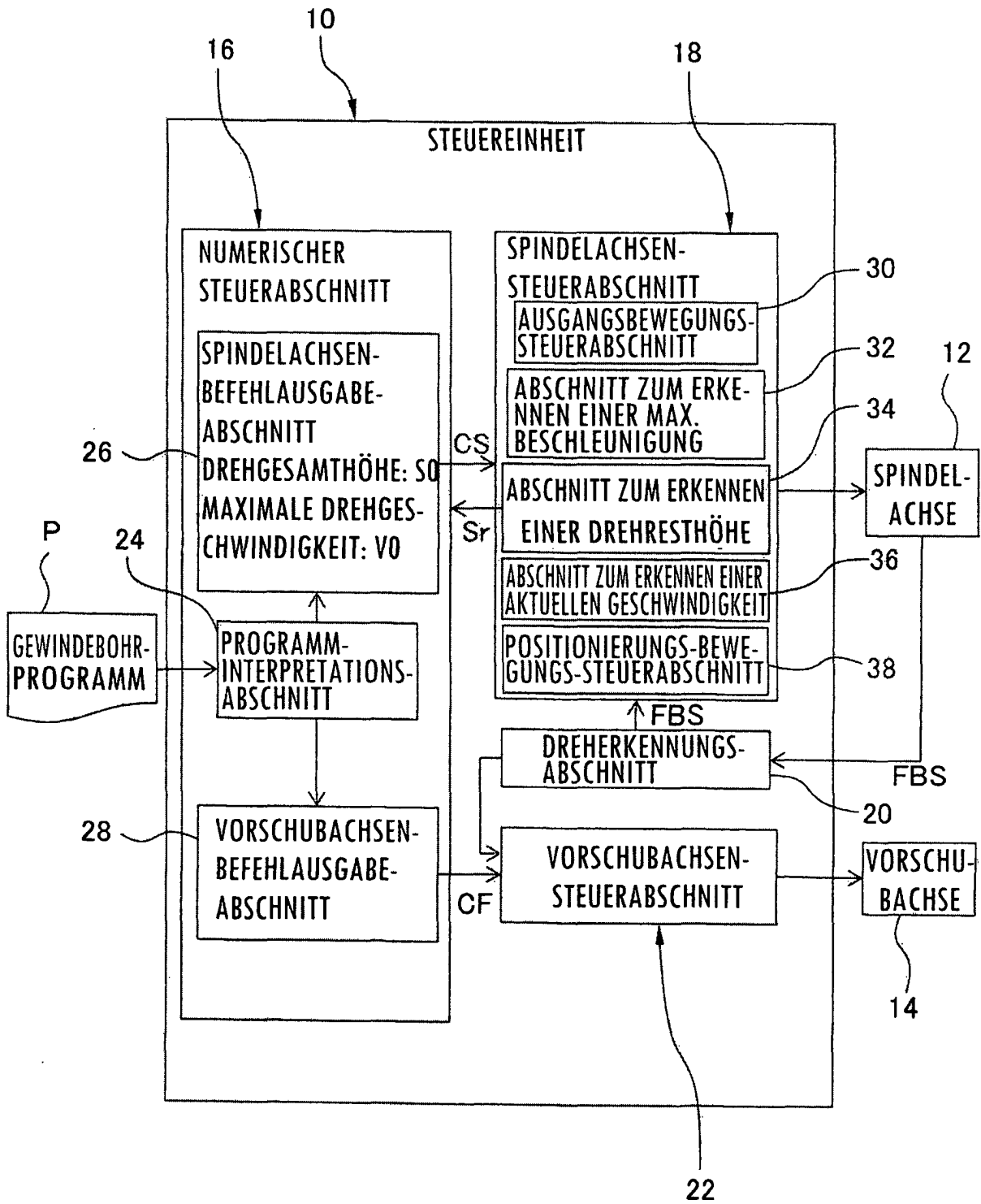


FIG. 2

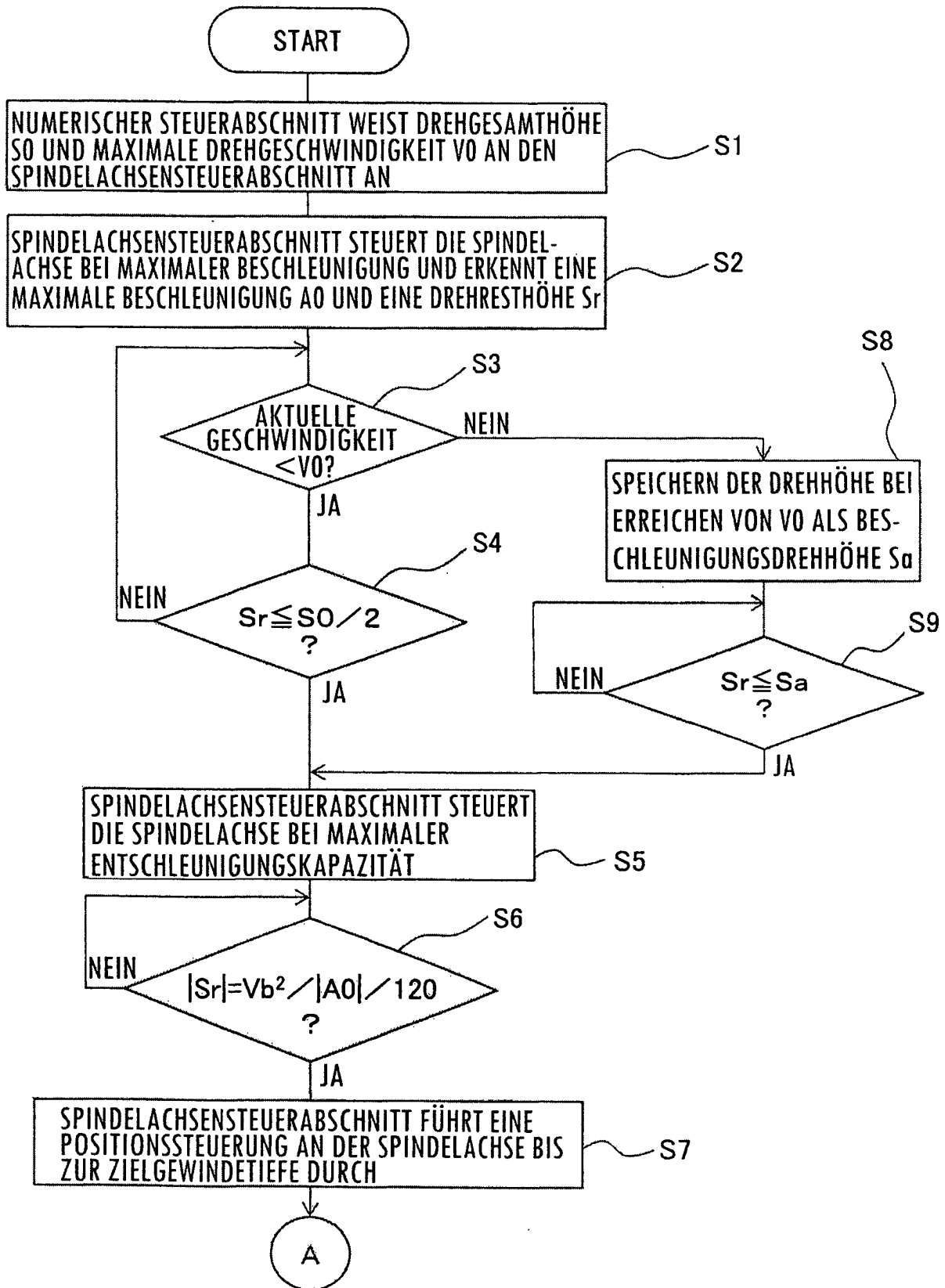


FIG. 3

SPINDELACHSEN-
SCHWINDIGKEIT

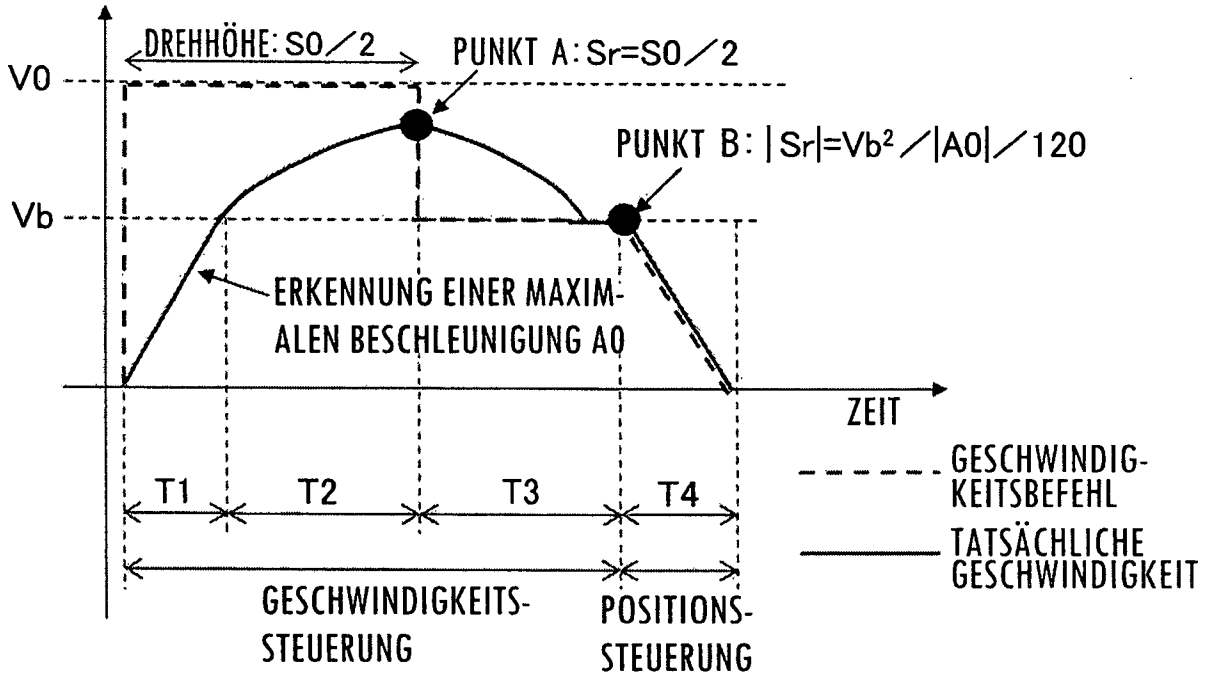


FIG. 4

SPINDELACHSEN-
SCHWINDIGKEIT

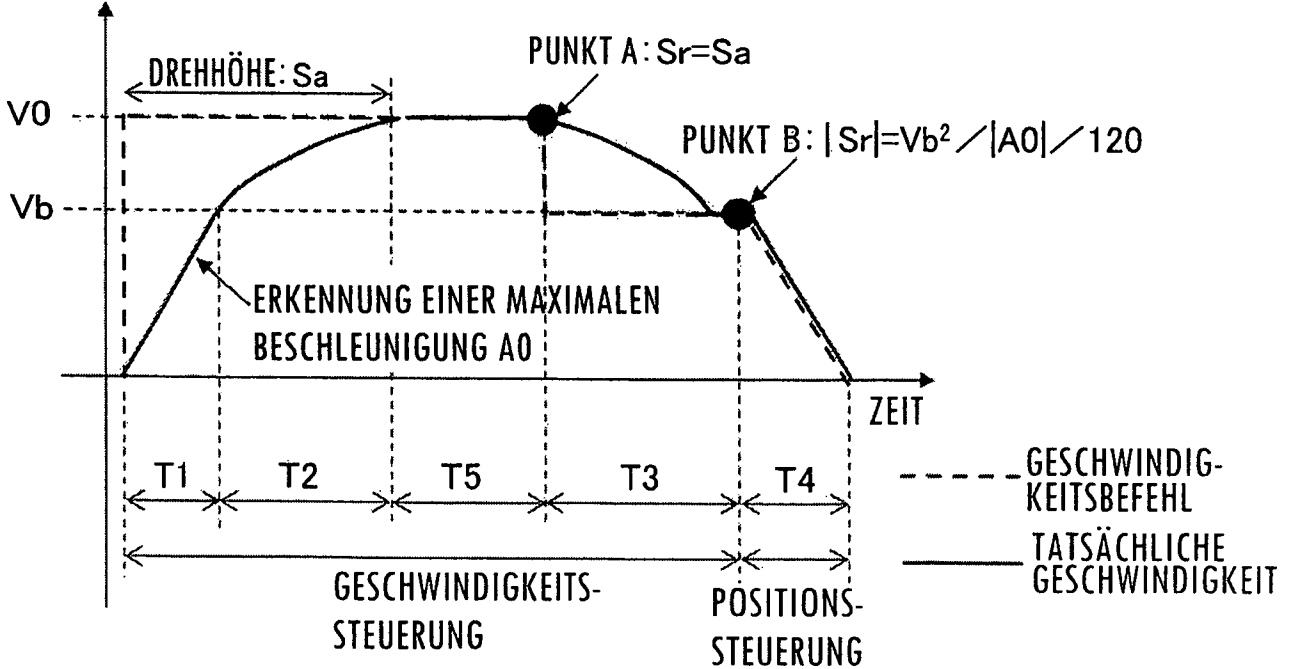


FIG. 5

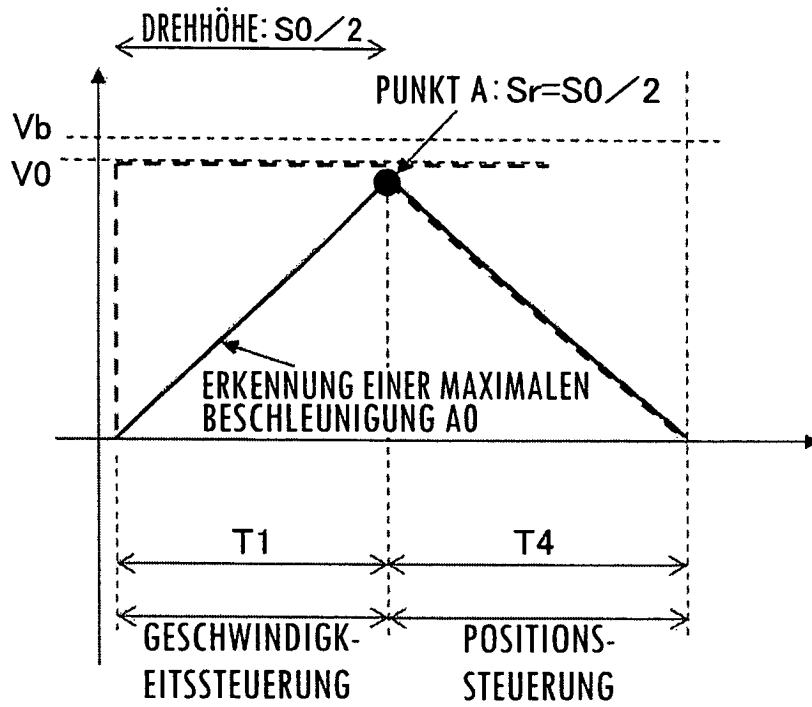


FIG. 6

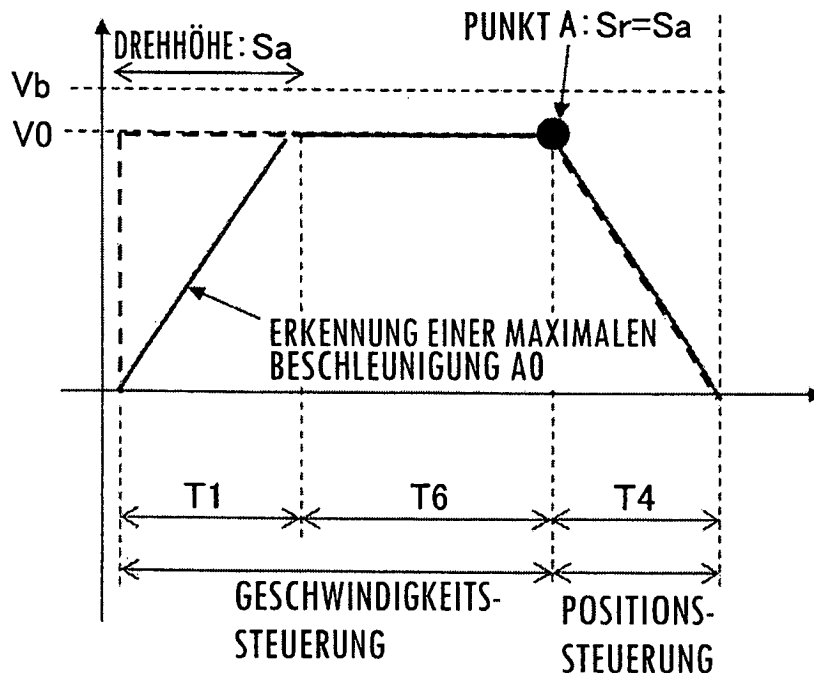


FIG. 7

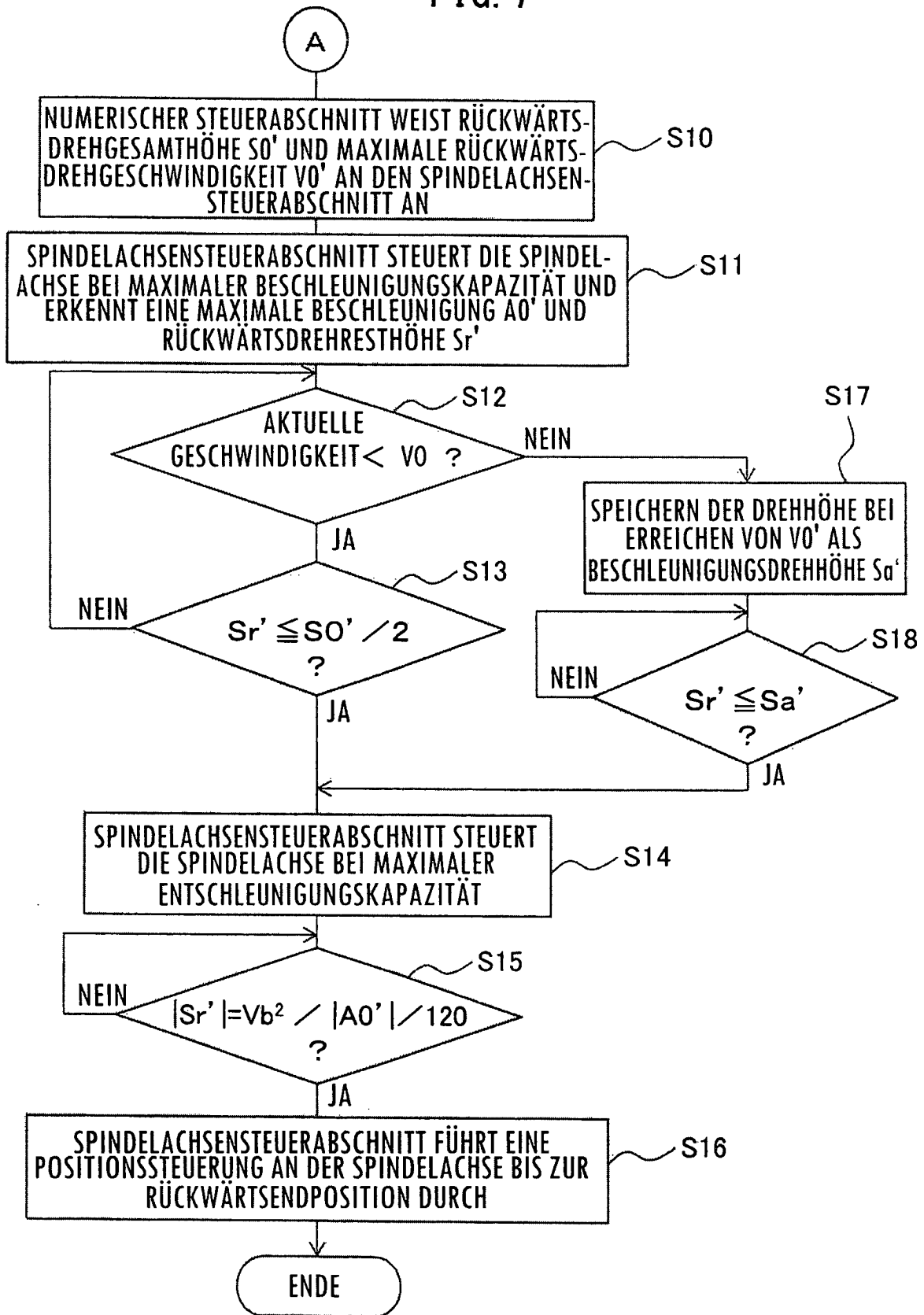


FIG. 8

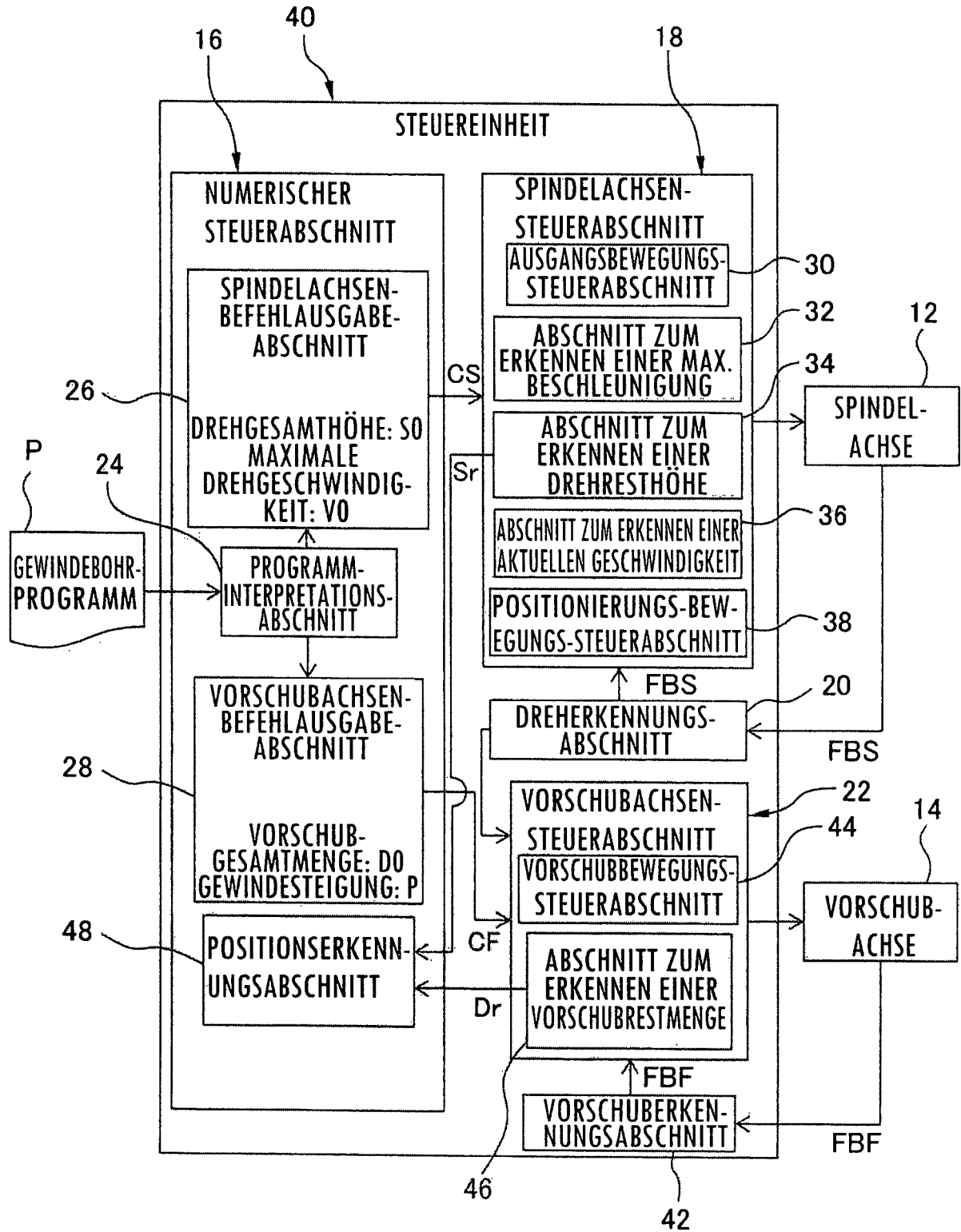


FIG. 9

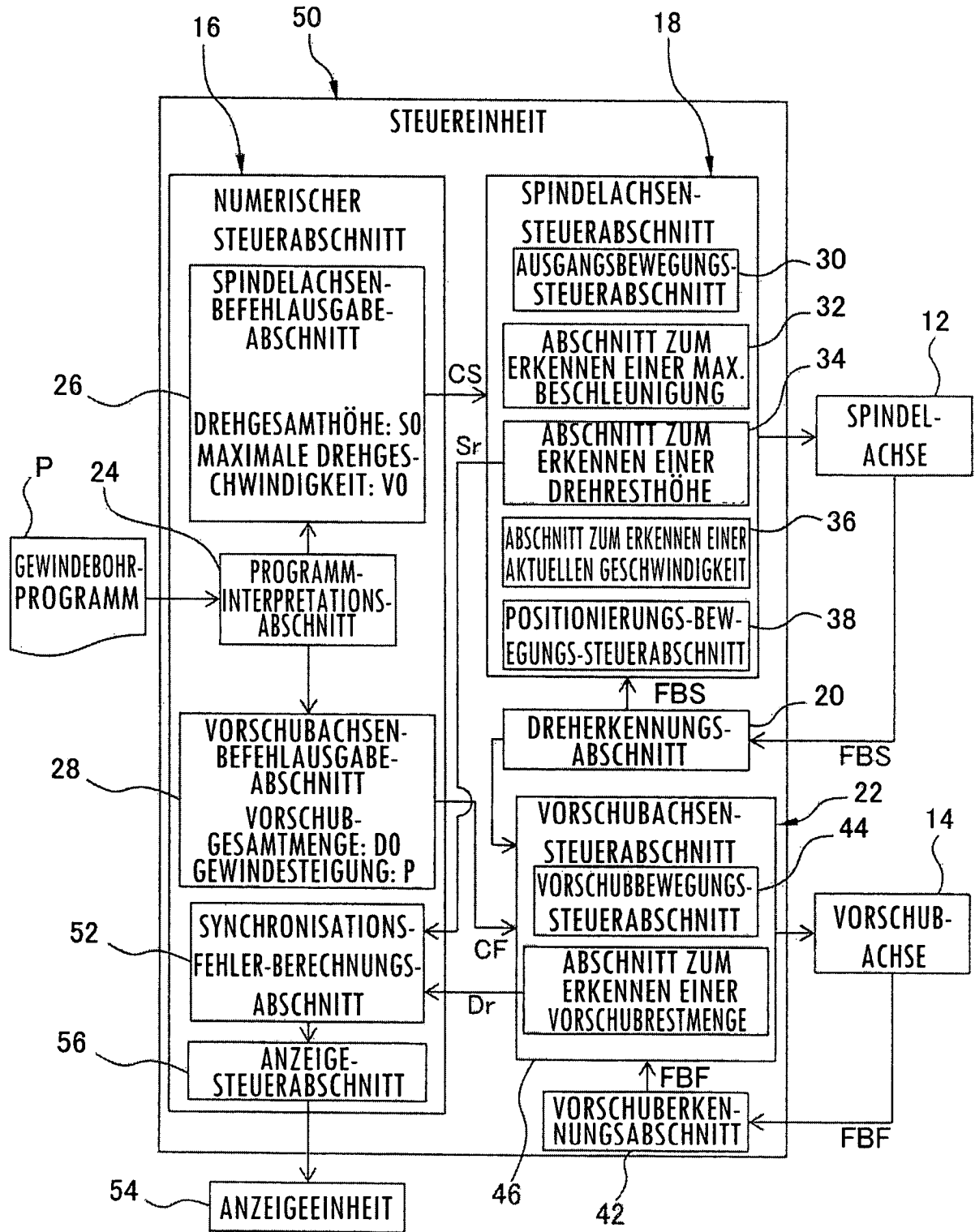


FIG. 10

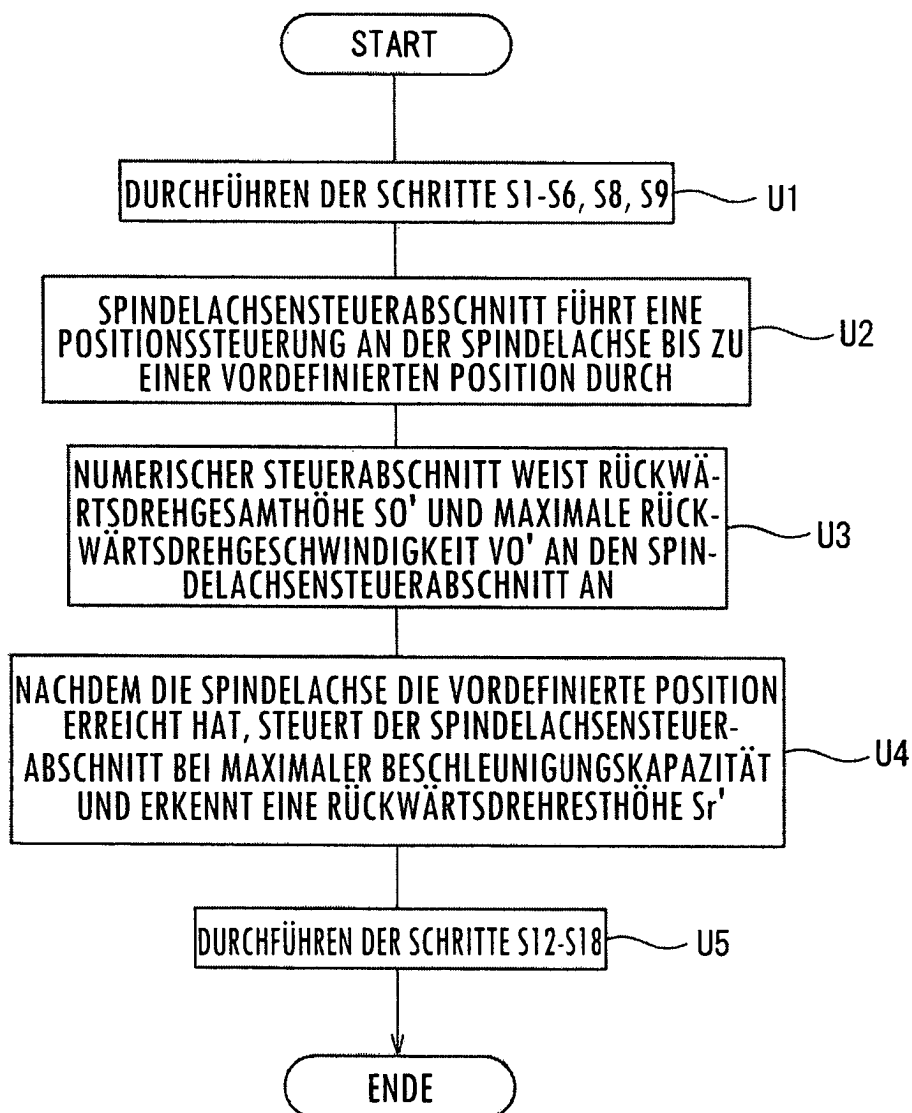


FIG. 11

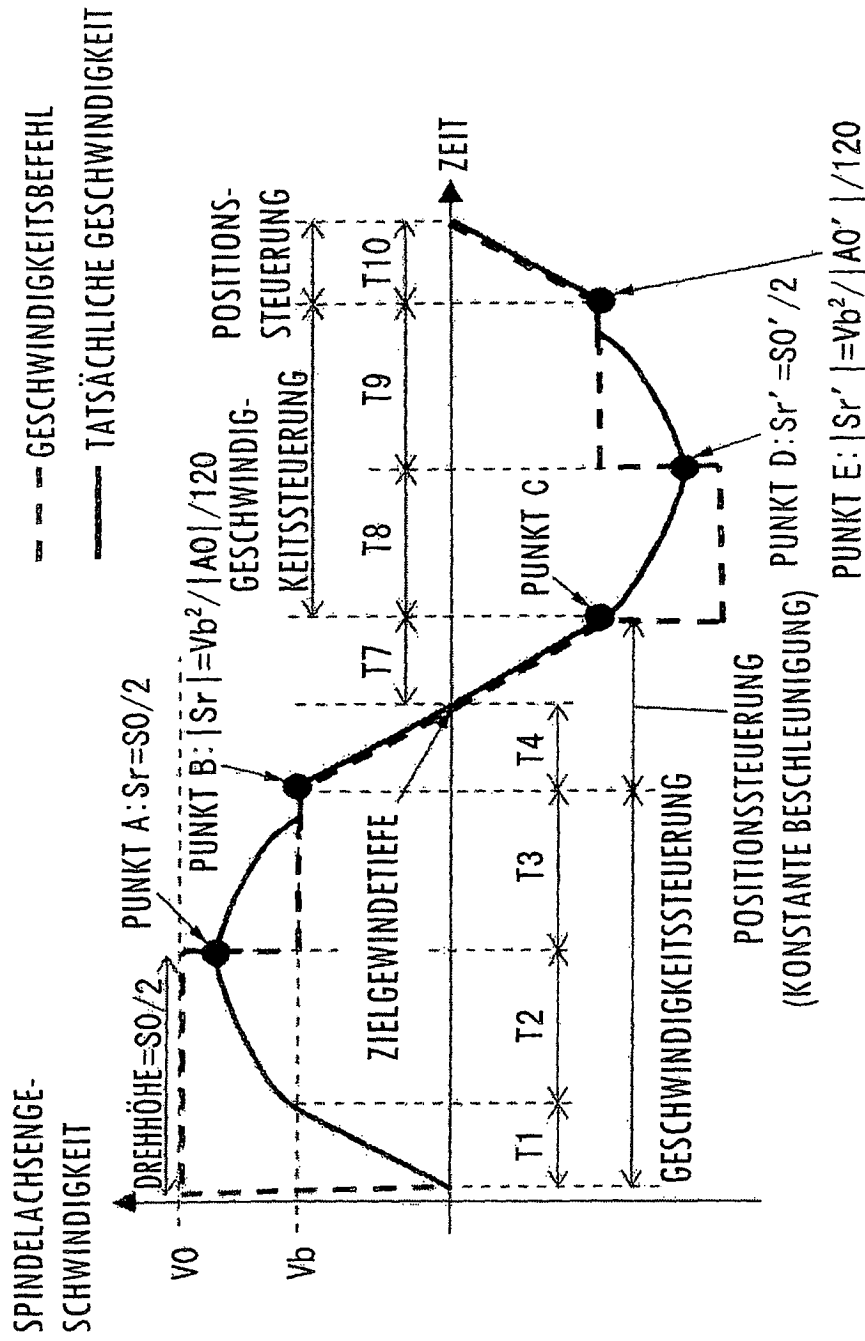


FIG. 12

