



(12) **Veröffentlichung**

der internationalen Anmeldung mit der  
 (87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2023/175799**  
 in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2  
 IntPatÜbkG)  
 (21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2022 006 849.3**  
 (86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2022/012059**  
 (86) PCT-Anmeldetag: **16.03.2022**  
 (87) PCT-Veröffentlichungstag: **21.09.2023**  
 (43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
 in deutscher Übersetzung: **02.01.2025**

(51) Int Cl.: **B24B 47/20 (2006.01)**  
**B24B 41/02 (2006.01)**  
**B24B 47/04 (2006.01)**  
**B24B 5/02 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**JTEKT CORPORATION, Kariya-shi, Aichi, JP**

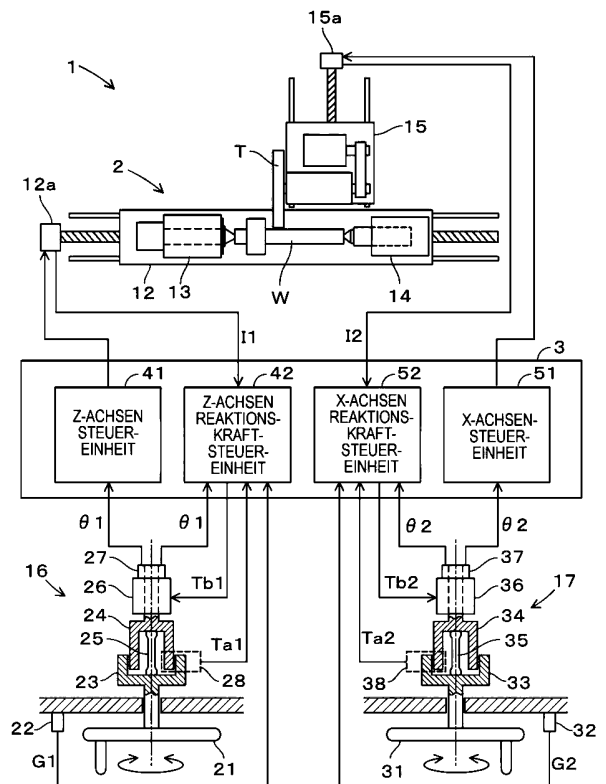
(74) Vertreter:  
**TBK, 80336 München, DE**

(72) Erfinder:  
**Nagaya, Hisayuki, Kariya-shi, Aichi, JP; Kometani,  
 Hideo, Kariya-shi, Aichi, JP; Fukaya, Yoshifumi,  
 Kariya-shi, Aichi, JP; Abeta, Satoshi, Kariya-shi,  
 Aichi, JP; Tsuzuki, Nobutaka, Kariya-shi, Aichi, JP**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Schleifmaschine**

(57) Zusammenfassung: Eine Schleifmaschine (1, 101, 201) hat: eine Schleifscheibe (T), die ein Werkstück (W) schleift; einen Bewegungsmotor (12, 15), der die Schleifscheibe relativ zu dem Werkstück bewegt; einen Bewegungsmotor (12a, 15a), der den bewegten Körper bewegt; einen manuellen Drehgriff (21, 31), der eine Position des bewegten Körpers steuert; einen Reaktionsmotor (26, 36, 226, 236), der an dem manuellen Drehgriff montiert ist und konfiguriert ist, um ein Reaktionsdrehmoment (Tb1, Tb2) auf den manuellen Drehgriff anzuwenden, wenn der manuelle Drehgriff gedreht wird; und eine Steuervorrichtung (3, 103, 203), die den Bewegungsmotor gemäß einem Drehwinkel ( $\theta 1$ ,  $\theta 2$ ) des manuellen Drehgriffs steuert und den Reaktionsmotor steuert, um das Reaktionsdrehmoment gemäß einer Größe des Schleifwiderstands während des Schleifens zu erzeugen.



**Beschreibung**

## TECHNISCHES GEBIET

**[0001]** Die vorliegende Offenbarung betrifft Schleifmaschinen.

## STAND DER TECHNIK

**[0002]** Es gibt folgende Arten von Schleifmaschinen: automatische Schleifmaschinen, die das Schleifen gemäß einem Programm automatisch durchführen, und manuelle Schleifmaschinen, deren manueller Drehgriff von einem Bediener betätigt wird, um das Schleifen manuell durchzuführen. Es gibt auch Schleifmaschinen, die sowohl die Funktion von automatischen Schleifmaschinen als auch die Funktion von manuellen Schleifmaschinen aufweisen.

**[0003]** Bekannterweise verwenden manuell bedienbare Schleifmaschinen eine Konfiguration, in der ein manueller Drehgriff betätigt wird, um Hydrauliköl direkt auf einen beweglichen Körper aufzubringen, um eine Schleifscheibe relativ zu einem Werkstück zu bewegen. In diesem Fall kann der Bediener beim Betätigen des manuellen Drehgriffs direkt eine auf den sich drehenden Körper wirkende Last empfangen. Dadurch kann der Bediener die Berührung zwischen dem Werkstück und der Schleifscheibe durch das Drehmoment am manuellen Drehgriff wahrnehmen, so dass ein präzises Schleifen durchgeführt werden kann.

**[0004]** Das Patentedokument 1 beschreibt eine Konfiguration einer manuell betätigbaren Schleifmaschine, in der ein beweglicher Körper gemäß der Größe der Drehung eines manuellen Drehgriffs auf der Grundlage eines elektrischen Signals bewegt wird, anstatt Hydrauliköl zu verwenden. Der manuelle Drehgriff ist mit einer Einrichtung zur Änderung des Laufdrehmoments bereitgestellt, um das zur Drehung des manuellen Drehgriffs erforderliche Drehmoment zu ändern, und die Einrichtung zur Änderung des Laufdrehmoments wird gemäß dem Näherungszustand zwischen dem Werkstück und der Schleifscheibe gesteuert.

**[0005]** Daher wird auch in der Konfiguration, die kein Hydrauliköl verwendet, das Drehmoment am manuellen Drehgriff erhöht, wenn das Werkstück und die Schleifscheibe miteinander in Berührung kommen. Dadurch kann der Bediener die Berührung zwischen dem Werkstück und der Schleifscheibe wahrnehmen, so dass ein präzises Schleifen möglich ist.

**[0006]** In dem Patentedokument 1 ist die Einrichtung zur Veränderung des Laufdrehmoments so konfiguriert, dass sie das Laufdrehmoment am manuellen

Drehgriff erhöht, indem ein drückendes Element gegen eine mit dem manuellen Drehgriff einstückige Platte gedrückt wird. Die Durchflussmenge von Druckluft wird durch Steuern eines Solenoidventils zur Druckregulierung gemäß dem Näherungszustand zwischen dem Werkstück und der Schleifscheibe angepasst, und eine der Durchflussmenge der Druckluft entsprechende Druckkraft wird auf das Druckelement ausgeübt.

## DOKUMENTE DES STANDS DER TECHNIK

## Patentdokumente

**[0007]** Patentedokument 1: Japanische nicht angemeldete Patentanmeldung Veröffentlichung Nr. 2015-157345 (JP 2015 - 157 345 A)

## ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Problem, das durch die Erfindung gelöst werden soll

**[0008]** In dem Patentedokument 1 bestimmt die Einrichtung zur Änderung des laufenden Drehmoments auf der Grundlage eines Näherungserkennungssignals, ob das Werkstück und die Schleifscheibe miteinander in Berührung sind oder nicht, und schaltet das auf den manuellen Drehgriff aufzubringende Drehmoment in Abhängigkeit davon um, ob das Werkstück und die Schleifscheibe miteinander in Berührung sind oder nicht. Das aufzubringende Drehmoment, wenn sie miteinander in Berührung sind, wird konstant gehalten. Alternativ dazu wird die Schnitttiefe der Schleifscheibe anhand eines Näherungserkennungssignals ermittelt, wenn sie in Berührung sind, und das anzuwendende Drehmoment wird gemäß der Schnitttiefe gesteuert.

**[0009]** In einer Konfiguration, die Hydrauliköl verwendet, kann die auf den manuellen Drehgriff ausgeübte Kraft selbst bei gleicher Schnitttiefe unterschiedlich sein, wenn sich das Material des Werkstücks, die Schärfe der Schleifscheibe usw. ändert. Daher sind die konventionellen Mittel zur Veränderung des Laufdrehmoments im Vergleich zu der Konfiguration, die Hydrauliköl verwendet, verbesserungswürdig.

**[0010]** Die vorliegende Offenbarung wurde im Hinblick auf das vorgenannte Problem gemacht, und ein Ziel der vorliegenden Offenbarung ist es, eine Schleifmaschine bereitzustellen, die es ermöglicht, eine Last auf einen manuellen Drehgriff mit hoher Genauigkeit aufzubringen, wie eine manuell betätigte Maschine, die Hydrauliköl verwendet, und die die Flexibilität beim Aufbringen der Last auf den manuellen Drehgriff erhöhen kann.

## Mittel zur Lösung des Problems

**[0011]** Ein Gesichtspunkt der vorliegenden Offenbarung ist eine Schleifmaschine, die folgendes hat: eine Schleifscheibe, die ein Werkstück schleift; einen beweglichen Körper, der die Schleifscheibe relativ zu dem Werkstück bewegt; einen Bewegungsmotor, der den beweglichen Körper bewegt; einen manuellen Drehgriff, der eine Position des beweglichen Körpers steuert; einen Reaktionsmotor, der an dem manuellen Drehgriff angebracht und so konfiguriert ist, dass er ein Reaktionsdrehmoment auf den manuellen Drehgriff ausübt, wenn der manuelle Drehgriff gedreht wird; und eine Steuervorrichtung, die den Bewegungsmotor gemäß einem Drehwinkel des manuellen Drehgriffs steuert und den Reaktionsmotor so steuert, dass er das Reaktionsdrehmoment gemäß einer Größe des Schleifwiderstands beim Schleifen erzeugt.

## Wirkungen der Erfindung

**[0012]** Gemäß dem obigen Gesichtspunkt wird das Reaktionsdrehmoment durch den am Handdrehgriff montierten Reaktionsmotor auf den Handdrehgriff ausgeübt. Daher wird durch die Steuerung des Reaktionsmotors eine hohe Flexibilität in der Anwendung des Reaktionsdrehmoments auf den manuellen Drehgriff erreicht.

**[0013]** Darüber hinaus steuert die Steuervorrichtung den Reaktionsmotor, um das Reaktionsdrehmoment gemäß der Größe des Schleifwiderstands während des Schleifens zu erzeugen. Wenn ein Bediener den manuellen Drehgriff betätigt, kann der Bediener daher während des Schleifens eine Belastung gemäß der Größe des Schleifwiderstands durch den manuellen Drehgriff spüren. Die Größe des Schleifwiderstands variiert je nach Material des Werkstücks und der Schärfe der Schleifscheibe sowie der Schnitttiefe. Mit anderen Worten: Das Reaktionsmoment variiert je nach Material des Werkstücks und der Schärfe der Schleifscheibe sowie der Schnitttiefe. Daher kann die Belastung, die der Bediener gemäß der Größe des Schleifwiderstandes am manuellen Drehgriff spürt, der Belastung einer manuell betätigten Maschine mit Hydrauliköl ähnlich gemacht werden, oder sie kann als eine von der Belastung einer manuell betätigten Maschine mit Hydrauliköl weiter angepasste Belastung gestaltet sein. Auf diese Weise kann eine Last mit hoher Genauigkeit auf den manuellen Drehgriff ausgeübt werden, den der Bediener betätigt, und es kann ein präzises Schleifen mit dem manuellen Drehgriff durchgeführt werden.

**[0014]** Gemäß dem vorstehend beschriebenen Gesichtspunkt ist es möglich, eine Schleifmaschine bereitzustellen, die es ermöglicht, eine Last mit hoher Genauigkeit auf einen manuellen Drehgriff

wie eine manuell betätigte Maschine unter Nutzung von Hydrauliköl aufzubringen, und die die Flexibilität beim Aufbringen der Last auf den manuellen Drehgriff erhöhen kann.

**[0015]** Die in den Ansprüchen in Klammern gesetzten Bezugszeichen weisen auf die Übereinstimmung mit insbesondere den in den nachfolgenden Ausführungsformen beschriebenen Mitteln hin und sollen den technischen Bereich der vorliegenden Erfindung nicht einschränken.

## KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**Fig. 1** ist eine Draufsicht auf eine Schleifmaschine gemäß einer ersten Ausführungsform.

**Fig. 2** ist ein Diagramm, das die Konfigurationen von Griffeinheiten und einer Steuervorrichtung in der Schleifmaschine der ersten Ausführungsform zeigt.

**Fig. 3** ist eine Vorderansicht der Griffeinheit.

**Fig. 4** ist ein Flussdiagramm, das einen Reaktionskraftsteuerprozess zeigt, der von einer Reaktionskraftsteuerunit der Steuervorrichtung in der ersten Ausführungsform durchgeführt wird.

**Fig. 5** ist ein Flussdiagramm, das einen initialen Reaktionsdrehmoment-Erzeugungsprozess in **Fig. 4** zeigt.

**Fig. 6** ist ein Flussdiagramm, das einen kontinuierlichen Reaktionsdrehmoment-Erzeugungsprozess in **Fig. 4** darstellt.

**Fig. 7** ist ein Diagramm, das Beziehungsinformationen zur Bestimmung des Reaktionsdrehmoments zeigt, wobei das Diagramm das Reaktionsdrehmoment gemäß einem Antriebsstrom eines Bewegungsmotors und einem Verstärkungswert zeigt.

**Fig. 8** ist ein Diagramm, das das Verhalten der Drehgeschwindigkeit eines manuellen Drehgriffs, der Bewegungsgeschwindigkeit eines Scheibenkopfes und des Reaktionsdrehmoments zeigt, wenn der manuelle Drehgriff betätigt wird.

**Fig. 9** ist ein Diagramm, das die Konfigurationen von Griffeinheiten und einer Steuervorrichtung in einer Schleifmaschine einer zweiten Ausführungsform zeigt.

**Fig. 10** ist ein Flussdiagramm, das einen kontinuierlichen Reaktionsdrehmoment-Erzeugungsprozess in einem Reaktionskraftsteuerprozess zeigt, der von einer Reaktionskraftsteuerunit der Steuervorrichtung in der zweiten Ausführungsform durchgeführt wird.

**Fig. 11** ist ein Diagramm, das Beziehungsinformationen zeigt, die zur Bestimmung des Reaktionsdrehmoments verwendet werden, wobei das Diagramm das Reaktionsdrehmoment gemäß einem Erfassungswert von einem AE-Sensor und einem Verstärkungswert zeigt.

**Fig. 12** ist ein Diagramm, das die Konfigurationen von Griffeneinheiten und einer Steuervorrichtung in einer Schleifmaschine einer dritten Ausführungsform zeigt.

**Fig. 13** ist ein Flussdiagramm, das einen Reaktionskraft-Steuerprozess zeigt, der von einer Reaktionskraft-Steereinheit der Steuervorrichtung in der dritten Ausführungsform durchgeführt wird.

**Fig. 14** ist ein Flussdiagramm, das einen initialen Reaktionsdrehmoment-Erzeugungsprozess in **Fig. 13** zeigt.

**Fig. 15** ist ein Flussdiagramm, das einen Reaktionskraft-Steuerprozess zeigt, der von einer Steereinheit einer Steuervorrichtung in einer vierten Ausführungsform durchgeführt wird.

**Fig. 16** ist ein Diagramm mit Beziehungsinformationen, die zur Bestimmung des Reaktionsdrehmoments verwendet werden, wobei das Diagramm das Reaktionsdrehmoment gemäß einem Antriebsstrom eines Bewegungsmotors und einem Verstärkungswert zeigt.

## BETRIEBSARTEN ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

(Erste Ausführungsform)

### 1. Konfiguration der Schleifmaschine 1

**[0016]** Die Konfiguration einer Schleifmaschine 1 gemäß der vorliegenden Ausführungsform wird unter Bezugnahme auf **Fig. 1** beschrieben. Wie es aus **Fig. 1** ersichtlich ist, schleift die Schleifmaschine 1 ein Werkstück W mit einer Schleifscheibe T, indem sie das Werkstück W und die Schleifscheibe T relativ zueinander bewegt, während sie das Werkstück W dreht und auch die Schleifscheibe T dreht: (a) Schleifen der äußeren Umfangsfläche des Werkstücks W, während die Schleifscheibe T relativ in die radiale Richtung (X-Achsenrichtung) des Werkstücks W bewegt wird; (b) Schleifen einer axialen Endfläche eines flanschartigen Abschnitts des Werkstücks W, während die Schleifscheibe T relativ in die axiale Richtung des Werkstücks W bewegt wird; und (c) Schleifen der äußeren Umfangsfläche des Werkstücks W, während die Schleifscheibe T relativ in die radiale Richtung (X-Achsenrichtung) des Werkstücks W bewegt wird und dann die Schleifscheibe T relativ in die axiale Richtung des Werkstücks W bewegt wird.

**[0017]** Die vorliegende Ausführungsform stellt ein Beispiel dar, bei dem die Schleifmaschine 1 eine Rundsleifmaschine ist. Es sind jedoch auch andere Konfigurationen möglich, wie z.B. eine Nockenschleifmaschine oder eine Flachsleifmaschine. Die vorliegende Ausführungsform stellt ein Beispiel dar, in dem die Schleifmaschine 1 eine Tischsleifmaschine ist. Eine Scheibenkopf-Sleifmaschine ist jedoch ebenfalls anwendbar.

**[0018]** Wie es aus der **Fig. 1** ersichtlich ist, hat die Schleifmaschine 1 einen Schleifmaschinenkörper 2 und eine Steuervorrichtung 3. Der Schleifmaschinenkörper 2 hat ein Bett 11, einen Tisch 12, einen Spindelstock 13, einen Reitstock 14, einen Scheibenkopf 15, eine Z-Achsen-Griffeneinheit 16 und eine X-Achsen-Griffeneinheit 17. Die vorliegende Ausführungsform sieht vor, dass der Tisch 12 einen Z-Achsen-Bewegungskörper darstellt, der die Schleifscheibe T relativ zum Werkstück W in Richtung der Z-Achse bewegt. Der Scheibenkopf 15 ist ein in der X-Achse beweglicher Körper, der die Schleifscheibe T relativ zum Werkstück W in der X-Achse bewegt. Obwohl nicht in der Figur ersichtlich, kann der Schleifmaschinenkörper 2 eine Kalibriervorrichtung, eine Ablagevorrichtung, eine Abrichtvorrichtung für die Schleifscheibe usw. haben.

**[0019]** Das Bett 11 ist auf einer Installationsfläche installiert. Auf der Oberseite des Bettes 11 sind eine Z-Achsenführung 11a, die sich in Richtung der Z-Achse erstreckt, und eine X-Achsenführung 11b, die sich in Richtung der X-Achse erstreckt, ausgebildet. Die vorliegende Ausführungsform bildet die Z-Achsenführung 11a auf der Vorderseite in Richtung der X-Achse aus (untere Seite in **Fig. 1**), also auf der Vorderseite der Maschine. Die X-Achsenführung 11b ist in Bezug auf die Z-Achsenführung 11a an der Rückseite der Maschine (Oberseite in **Fig. 1**) ausgebildet.

**[0020]** Der Tisch 12 (Z-Achsen-Bewegungskörper) ist auf der Oberseite des Bettes 11 so vorgesehen, dass sich der Tisch 12 in Richtung der Z-Achse bewegen kann, während er von der Z-Achsen-Führung 11a auf dem Bett 11 geführt wird. Der Tisch 12 ist so konfiguriert, dass er sich über eine Kugelumlaufspindelvorrichtung bewegt, wenn er von einem auf dem Bett 11 montierten Motor 12a (Bewegungsmotor für die Z-Achse) angetrieben wird. Das heißt, der Motor 12a bewegt den Tisch 12 in Richtung der Z-Achse. Der Tisch 12 kann anstelle des Motors 12a und der Kugelumlaufspindelvorrichtung auch von einem Linearmotor angetrieben sein.

**[0021]** Der Spindelstock 13 hat einen Spindelstockkörper 13a, eine Spindel 13b, einen Motor 13c und ein Mittelelement 13d. Der Spindelstockkörper 13a ist an der oberen Fläche des Tisches 12 befestigt. Die Spindel 13b wird vom Spindelstockkörper 13a gehalten, so dass sie um die Z-Achse drehbar ist.

Der Motor 13c ist auf dem Spindelstockkörper 13a montiert und treibt die Spindel 13b an, sich zu drehen. Das Mittelelement 13d ist am distalen Ende der Spindel 13b angebracht und stützt ein Ende des Werkstücks W. Das heißt, durch den Drehantrieb des Motors 13c wird das Werkstück W so angetrieben, dass es sich um die Mittelachse des Werkstücks W dreht. In **Fig. 1** ist ein Beispiel dargestellt, in dem der Spindelstock 13 so konfiguriert ist, dass er ein Ende des Werkstücks W durch das Mittelelement 13d stützt. Anstelle des Mittelelements 13d kann jedoch auch ein Spannfutter verwendet werden.

**[0022]** Der Reitstock 14 ist auf der Oberseite des Tisches 12 in einer solchen Position vorgesehen, dass der Reitstock 14 dem Spindelstock 13 in Richtung der Z-Achse gegenüberliegt. Der Reitstock 14 hält das andere axiale Ende des Werkstücks W und trägt das Werkstück W so, dass der Reitstock 14 um die Z-Achse drehbar ist. Der Reitstock 14 hat einen Reitstockkörper 14a, einen Stößel 14b und ein Mittelelement 14c. Der Reitstockkörper 14a ist an der oberen Fläche des Tisches 12 befestigt. Der Stößel 14b ist im Reitstockkörper 14a so bereitgestellt, dass er in Richtung der Z-Achse beweglich ist. Das heißt, der Stößel 14b ist so bereitgestellt, dass der Umfang des Vorsprungs des Stößels 14b aus dem Reitstockkörper 14a verändert werden kann. Das Mittelelement 14c ist an dem distalen Ende des Stößels 14b angebracht und stützt das andere Ende des Werkstücks W. Das Werkstück W wird also an beiden Enden durch den Spindelstock 13 und den Reitstock 14 drehbar gehalten. Das Werkstück W kann auch nur von dem Spindelstock 13 freitragend gehalten sein. Der Reitstock 14 kann so konfiguriert sein, dass der Reitstockkörper 14a relativ zum Tisch 12 in Richtung der Z-Achse beweglich ist. In diesem Fall ist der Stößel 14b nicht erforderlich.

**[0023]** Der Scheibenkopf 15 (X-Achsen-Bewegungskörper) ist auf der Oberseite des Bettes 11 so angeordnet, dass sich der Scheibenkopf 15 in Richtung der X-Achse bewegen kann, während er von der X-Achsen-Führung 11b auf dem Bett 11 geführt wird. Der Scheibenkopf 15 ist so konfiguriert, dass er sich über eine Kugelumlaufspindelvorrichtung bewegt, wenn er von einem auf dem Bett 11 montierten Motor 15a (Bewegungsmotor für die X-Achse) angetrieben wird. Das heißt, der Motor 15a bewegt den Scheibenkopf 15 in Richtung der X-Achse. Der Scheibenkopf 15 kann anstelle des Motors 15a und der Kugelumlaufspindelvorrichtung auch von einem Linearmotor angetrieben sein. Der Scheibenkopf 15 hat die Schleifscheibe T, die drehbar gelagert ist. Die Schleifscheibe T wird über einen Riemen 15c gedreht, wenn sie von einem am Scheibenkopf 15 montierten Motor 15b angetrieben wird. Die Schleifscheibe T ist ein Werkzeug zum Schleifen des Werkstücks W und besteht aus einer Vielzahl von Schleif-

körnern, die durch ein Bindemittel zusammengehalten werden.

**[0024]** Die Z-Achsen-Handgriffeinheit 16 ist an der Vorderseite des Bettes 11 und in der vorliegenden Ausführungsform links von der Mitte in der Links-Rechts-Richtung angebracht. Die Z-Achsen-Griffeinheit 16 hat einen manuellen Z-Achsen-Drehgriff 21. Der manuelle Z-Achsen-Drehgriff 21 ist ein Element, das von einem Bediener manuell betätigt werden kann und die Position des Tisches 12, der als Z-Achsen-Bewegungskörper dient, manuell steuert. Die Z-Achsen-Handgriffeinheit 16 hat außerdem eine Z-Achsen-Reaktionsanstiegswertanpassungseinheit 22. Die Z-Achsen-Reaktionsanstiegswertanpassungseinheit 22 kann von einem Bediener manuell betätigt werden und ist so konfiguriert, dass sie einen Verstärkungswert G1 für das Reaktionsdrehmoment anpasst, das auf den manuellen Z-Achsen-Drehgriff 21 einwirkt.

**[0025]** Die X-Achsen-Handgriffeinheit 17 ist an der Vorderseite des Bettes 11 und in der vorliegenden Ausführungsform rechts von der Mitte in der Links-Rechts-Richtung angebracht. Die X-Achsen-Handgriffeinheit 17 hat einen manuellen X-Achsen-Drehgriff 31. Der manuelle X-Achsen-Drehgriff 31 ist ein Element, das von einem Bediener manuell betätigt werden kann und die Position des Scheibenkopfes 15, der als X-Achsen-Bewegungskörper dient, manuell steuert. Die X-Achsen-Handhabungseinheit 17 hat außerdem eine X-Achsen-Reaktionsanstiegswertanpassungseinheit 32. Die X-Achsen-Reaktionsanstiegswertanpassungseinheit 32 kann von einem Bediener manuell betätigt werden und ist so konfiguriert, dass sie einen Anstiegswert G2 für das Reaktionsdrehmoment anpasst, das auf den manuellen X-Achsen-Drehgriff 31 einwirkt.

**[0026]** Die Steuervorrichtung 3 steuert jede Antriebsvorrichtung, die den Schleifmaschinenkörper 2 bildet. Insbesondere steuert die Steuervorrichtung 3 den Motor 12a (Bewegungsmotor der Z-Achse) gemäß dem Drehwinkel des manuellen Drehgriffs 21 der Z-Achse, um die Position in Richtung der Z-Achse des Tisches 12 (drehender Körper der Z-Achse) zu steuern. Die Steuervorrichtung 3 steuert den Motor 15a (Bewegungsmotor der X-Achse) gemäß dem Drehwinkel des manuellen Drehgriffs 31 der X-Achse, um die Position des Scheibenkopfes 15 (drehender Körper der X-Achse) in Richtung der X-Achse zu steuern. Mit anderen Worten: Die Steuervorrichtung 3 steuert die Motoren 12a, 15a, um die Positionen des Tisches 12 und des Scheibenkopfes 15 zu steuern, die als Bewegungskörper für die Bewegung der Schleifscheibe T relativ zum Werkstück W dienen. Die Steuervorrichtung 3 steuert auch den Motor 13c des Spindelstocks 13, um die Drehung des Werkstücks W zu steuern. Die Steuervorrichtung 3 steuert den Motor 15b des Scheiben-

kopfes 15, um die Drehung der Schleifscheibe T zu steuern.

## 2. Detaillierte Konfiguration der Griffeinheiten 16, 17

**[0027]** Die detaillierten Konfigurationen der Griffeinheiten 16, 17 werden unter Bezugnahme auf die **Fig. 2** und **3** beschrieben. Wie es aus der **Fig. 2** ersichtlich ist, weisen die Griffeinheit 16 für die Z-Achse und die Griffeinheit 17 für die X-Achse die gleichen Bauteile auf und unterscheiden sich nur in dem zu betätigenden Element. Die folgende Beschreibung gilt für die Bauteile beider Griffeinheiten, wenn kein Achsenname angegeben ist.

**[0028]** Die Griffeinheiten 16, 17 haben jeweils die manuellen Drehgriffe 21, 31, die Reaktionsanstiegswertanpassungseinheiten 22, 32, eingangsseitige Wellenelemente 23, 33, abtriebsseitige Wellenelemente 24, 34, Torsionsstäbe 25, 35, Reaktionsmotoren 26, 36, Winkelerfassungssensoren 27, 37, und Drehmomentsensoren 28, 38.

**[0029]** Die manuellen Drehgriffe 21, 31 sind Elemente zum Steuern der Position des Tisches 12 oder des Scheibenkopfes 15, die jeweils als beweglicher Körper dienen. Wie es aus den **Fig. 2** und **3** ersichtlich ist, haben die manuellen Drehgriffe 21, 31 zum Beispiel jeweils einen ringförmigen Abschnitt und einen am Abschnitt befestigten Griff. Ein Bediener kann die Abschnitte der Griffe halten und die manuellen Drehgriffe 21, 31 drehen. Die manuellen Drehgriffe 21, 31 können jede beliebige Konfiguration aufweisen, solange sie drehbar sind. Sie können zum Beispiel einen stabförmigen Arm verwenden, der sich anstelle des ringförmigen Abschnitts des Körpers in radialer Richtung erstreckt. In diesem Fall sind die manuellen Drehgriffe 21, 31 z.B. L-förmig ausgebildet.

**[0030]** Die eingangsseitigen Wellenteile 23, 33 sind jeweils einstückig mit den manuellen Drehgriffen 21, 31 und werden drehbar von dem Bett 11 oder an dem Bett 11 befestigten Teilen gehalten. Die Mittelachsen der eingangsseitigen Wellenteile 23, 33 sind die gleichen wie die Mittelachsen der manuellen Drehgriffe 21, 31. Die abtriebsseitigen Wellenelemente 24, 34 werden vom Bett 11 oder den am Bett 11 befestigten Elementen so gehalten, dass sie relativ zu den eingangsseitigen Wellenelementen 23, 33 drehbar sind. Die Mittelachsen der abtriebsseitigen Wellenteile 24, 34 sind die gleichen wie die Mittelachsen der eingangsseitigen Wellenteile 23, 33. Ein Ende der Torsionsstäbe 25, 35 ist mit den eingangsseitigen Wellenelementen 23, 33 verbunden, die anderen Enden sind mit den abtriebsseitigen Wellenelementen 24, 34 verbunden. Wenn also die antriebsseitigen Wellenelemente 23, 33 gedreht werden, werden die Torsionsstäbe 25, 35 verdreht, wodurch die abtriebssei-

tigen Wellenelemente 24, 34 in Drehung versetzt werden.

**[0031]** Die Reaktionsmotoren 26, 36 sind jeweils auf den abtriebsseitigen Wellenelementen 24, 34 montiert. Insbesondere sind die Reaktionsmotoren 26, 36 über die abtriebsseitigen Wellenelemente 24, 34, die Torsionsstäbe 25, 35 und die eingangsseitigen Wellenelemente 23, 33 an den manuellen Drehgriffen 21, 31 angebracht. Die Reaktionsmotoren 26, 36 sind so konfiguriert, dass sie Reaktionsmomente Tb1, Tb2 auf die manuellen Drehgriffe ausüben, wenn die manuellen Drehgriffe gedreht werden. Insbesondere werden beim Antrieb der Reaktionsmotoren 26, 36 die Reaktionsmomente Tb1, Tb2 auf die abtriebsseitigen Wellenelemente 24, 34 aufgebracht, die an den Antriebswellen der Reaktionsmotoren 26, 36 befestigt sind, und die Reaktionsmomente Tb1, Tb2 werden über die Torsionsstäbe 25, 35 und die eingangsseitigen Wellenelemente 23, 33 auf die manuellen Drehgriffe 21, 31 übertragen.

**[0032]** Die Winkelerfassungssensoren 27, 37 sind an den Reaktionsmotoren 26, 36 installiert und erfassen die Winkel  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  der Antriebswellen der Reaktionsmotoren 26, 36. Das heißt, die Winkelerfassungssensoren 27, 37 erfassen im Wesentlichen die Drehwinkel  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  der manuellen Drehgriffe 21, 31. Bei den Winkelerfassungssensoren 27, 37 handelt es sich zum Beispiel um Encoder.

**[0033]** Die Drehmomentsensoren 28, 38 erfassen die Betriebsdrehmomente Ta1, Ta2, die vom Bediener auf die manuellen Drehgriffe 21, 31 ausgeübt werden. In der vorliegenden Ausführungsform können die Drehmomentsensoren 28, 38 die Betriebsdrehmomente Ta1, Ta2 erkennen, indem sie die Verdrehungszustände der Torsionsstäbe 25, 35 erfassen. Bei den Drehmomentsensoren 28, 38 handelt es sich beispielsweise um Hall-IC-Drehmomentsensoren, die an den antriebsseitigen Wellenelementen 23, 33 und den abtriebsseitigen Wellenelementen 24, 34 angebracht sind. Da Hall-IC-Drehmomentsensoren in der Technik wohlbekannt sind, wird auf eine detaillierte Beschreibung dieser Sensoren verzichtet. Die Drehmomentsensoren 28, 38 können Drehmomentsensoren sein, die andere Konfigurationen aufweisen.

Wie vorstehend beschrieben, können die

**[0034]** Reaktionsanstiegswertanpassungseinheiten 22, 32 von einem Bediener manuell betätigt werden und sind so konfiguriert, dass sie die Anstiegswerte G1, G2 für die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 anpassen, die auf die manuellen Drehgriffe 21, 31 einwirken. Die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 werden von der Steuervorrichtung 3 gesteuert. Bei den Reaktionsanstiegswertanpassungseinheiten 22, 32 handelt es sich zum Beispiel um manuell betä-

tigte Einstellknöpfe. Wie es aus der **Fig. 3** ersichtlich ist, ist jeder Einstellknopf z.B. von der Art einer Skala und weist eine Vielzahl von Einstellungen auf. Jedes Einstellknopfelement kann ein Einstellknopf, ein Einstellhebel usw. sein. Der Einstellknopf besteht aus einer Vielzahl von Knöpfen. Der Einstellhebel ist zum Beispiel so konfiguriert, dass er eine Vielzahl von Einstellungen vornehmen kann.

### 3. Konfiguration der Steuervorrichtung 3

**[0035]** Die Konfiguration der Steuervorrichtung 3 wird unter Bezugnahme auf **Fig. 2** beschrieben. Insbesondere wird die Steuerung des Betriebs der manuellen Drehgriffe 21, 31 durch die Steuervorrichtung 3 beschrieben.

**[0036]** Die Steuervorrichtung 3 hat als Bauteile, die den Betrieb der manuellen Drehgriffe 21, 31 betreffen, eine Z-Achsen-Steuereinheit 41, eine Z-Achsen-Reaktionskraft-Steuereinheit 42, eine X-Achsen-Steuereinheit 51 und eine X-Achsen-Reaktionskraft-Steuereinheit 52. Die Z-Achsen-Steuereinheit 41 steuert den Motor 12a (Bewegungsmotor der Z-Achse) gemäß dem Drehwinkel  $\theta_1$  des manuellen Drehgriffs 21 der Z-Achse, um die Position in der Z-Achsen-Richtung des Tisches 12 (beweglicher Körper der Z-Achse) zu steuern.

**[0037]** Die Z-Achsen-Steuereinheit 42 steuert den Z-Achsen-Reaktionsmotor 26, um das Z-Achsen-Reaktionsdrehmoment  $T_{b1}$  gemäß der Größe des Schleifwiderstands beim Schleifen zu erzeugen. In der vorliegenden Ausführungsform verwendet die Z-Achsen-Steuereinheit 42 die Größe eines Antriebsstroms I1 des Motors 12a während des Schleifens als Größe des Schleifwiderstands und steuert den Z-Achsen-Reaktionsmotor 26 so, dass der Z-Achsen-Reaktionsmotor 26 das Z-Achsen-Reaktionsdrehmoment  $T_{b1}$  gemäß der Größe des Antriebsstroms I1 des Motors 12a erzeugt. Wenn der manuelle Z-Achsen-Drehgriff 21 gedreht wird, während nicht geschliffen wird, veranlasst die Z-Achsen-Steuereinheit 42 den Z-Achsen-Reaktionsmotor 26 außerdem, das Z-Achsen-Reaktionsdrehmoment  $T_{b1}$  gemäß der Größe des Antriebsstroms I1 des Motors 12a zu erzeugen, während nicht geschliffen wird.

**[0038]** Genauer gesagt, erlangt die Z-Achsen-Steuereinheit 42 den Drehwinkel  $\theta_1$  des manuellen Z-Achsen-Drehgriffs 21, der von dem Z-Achsen-Winkelerfassungssensor 27 erfasst wird, das Z-Achsen-Reaktionsdrehmoment  $T_{a1}$ , das von dem Z-Achsen-Drehmomentsensor 28 erfasst wird, den Anstiegswert  $G_1$ , der mit der Z-Achsen-Reaktionsanstiegswertanpassungseinheit 22 eingestellt wird, und den Antriebsstrom I1 des Motors 12a. Die Z-Achsen-Steuereinheit 42 steuert den Z-Achsen-Reaktionsmotor 26, um das Z-Achsen-Reaktionsdrehmoment

$T_{b1}$  am manuellen Z-Achsen-Drehgriff 21 zu erzeugen, basierend auf den erlangten Informationen.

**[0039]** Die Steuervorrichtung 3 wird durch die Erfassung des Betriebsdrehmoments  $T_{a1}$  durch den Z-Achsen-Drehmomentsensor 28 ausgelöst, um den Z-Achsen-Reaktionsmotor 26 zu veranlassen, das Z-Achsen-Reaktionsdrehmoment  $T_{b1}$  zu erzeugen. Zu diesem Zeitpunkt bestimmt die Steuervorrichtung 3 die Drehrichtung des manuellen Z-Achsen-Drehgriffs 21 auf der Grundlage des Erfassungswerts des Winkelerfassungssensors 27 für die Z-Achse. Die Steuervorrichtung 3 steuert dann den Z-Achsen-Reaktionsmotor 26, um das Z-Achsen-Reaktionsdrehmoment  $T_{b1}$  in einer Richtung zu erzeugen, die der bestimmten Drehrichtung des manuellen Z-Achsen-Drehgriffs 21 entgegengesetzt ist. Wenn das Z-Achsen-Betriebsdrehmoment  $T_{a1}$  auf einen vorbestimmten Wert oder weniger sinkt, veranlasst die Steuervorrichtung 3 den Z-Achsen-Reaktionsmotor 26, die Erzeugung des Z-Achsen-Reaktionsdrehmoments  $T_{b1}$  anzuhalten.

**[0040]** Die Steuervorrichtung 3 steuert den Z-Achsen-Reaktionsmotor 26 auch, um das Z-Achsen-Reaktionsdrehmoment  $T_{b1}$  zu erzeugen, das auf der Größe des Schleifwiderstandes während des Schleifens und dem Anstiegswert  $G_1$  beruht, der von der Z-Achsen-Reaktionsanpassungseinheit 22 angepasst wird.

**[0041]** Die Steuereinheit 51 für die X-Achse steuert den Motor 15a (Bewegungsmotor der X-Achse) gemäß dem Drehwinkel  $\theta_2$  des manuellen Drehgriffs 31 der X-Achse, um die Position des Scheibenkopfes 15 (drehender Körper der X-Achse) in der X-Achsen-Richtung zu steuern.

**[0042]** Die X-Achsen-Reaktionskraft-Steuereinheit 52 steuert den X-Achsen-Reaktionsmotor 36, um das X-Achsen-Reaktionsdrehmoment  $T_{b2}$  gemäß der Größe des Schleifwiderstands beim Schleifen zu erzeugen. In der vorliegenden Ausführungsform verwendet die X-Achsen-Reaktionskraft-Steuereinheit 52 die Größe eines Antriebsstroms I2 des Motors 15a während des Schleifens als Größe des Schleifwiderstands und steuert den X-Achsen-Reaktionsmotor 36 so, dass der X-Achsen-Reaktionsmotor 36 das X-Achsen-Reaktionsdrehmoment  $T_{b2}$  gemäß der Größe des Antriebsstroms I2 des Motors 15a erzeugt. Wenn der X-Achsen-Handdrehgriff 31 gedreht wird, während nicht geschliffen wird, veranlasst die X-Achsen-Reaktionskraft-Steuereinheit 52 den X-Achsen-Reaktionsmotor 36 außerdem, das X-Achsen-Reaktionsdrehmoment  $T_{b2}$  gemäß der Größe des Antriebsstroms I2 des Motors 15a zu erzeugen, während nicht geschliffen wird.

**[0043]** Genauer gesagt erlangt die X-Achsen-Reaktionskraft-Steuereinheit 52 den Drehwinkel  $\theta_2$  des

manuellen X-Achsen-Drehgriffs 31, der vom X-Achsen-Winkelerfassungssensor 37 erfasst wird, das X-Achsen-Betriebsdrehmoment Ta2, das vom X-Achsen-Drehmomentsensor 38 erfasst wird, den Anstiegswert G2, der mit der X-Achsen-Reaktionsanstiegsanpassungseinheit 32 eingestellt wird, und den Antriebsstrom I2 des Motors 15a. Die X-Achsen-Reaktionskraft-Steuereinheit 52 steuert den X-Achsen-Reaktionsmotor 36, um das X-Achsen-Reaktionsdrehmoment Tb2 am manuellen X-Achsen-Drehgriff 31 zu erzeugen, basierend auf den erlangten Informationen.

**[0044]** Die Steuervorrichtung 3 wird durch die Erfassung des Betriebsdrehmoments Ta2 durch den X-Achsen-Drehmomentsensor 38 ausgelöst, um den X-Achsen-Reaktionsmotor 36 zu veranlassen, das X-Achsen-Reaktionsdrehmoment Tb2 zu erzeugen. Zu diesem Zeitpunkt bestimmt die Steuervorrichtung 3 die Drehrichtung des manuellen X-Achsen-Drehgriffs 31 auf der Grundlage des Erfassungswertes des X-Achsen-Winkelerfassungssensors 37. Die Steuervorrichtung 3 steuert dann den X-Achsen-Reaktionsmotor 36, um das X-Achsen-Reaktionsdrehmoment Tb2 in einer Richtung zu erzeugen, die der bestimmten Drehrichtung des manuellen X-Achsen-Drehgriffs 31 entgegengesetzt ist. Wenn das Betriebsdrehmoment Ta2 der X-Achse auf einen vorbestimmten Wert Th1 oder weniger sinkt, veranlasst die Steuervorrichtung 3 den X-Achsen-Reaktionsmotor 36, die Erzeugung des X-Achsen-Reaktionsdrehmoments Tb2 anzuhalten.

**[0045]** Die Steuervorrichtung 3 steuert auch den X-Achsen-Reaktionsmotor 36, um das X-Achsen-Reaktionsdrehmoment Tb2 zu erzeugen, das auf der Größe des Schleifwiderstands während des Schleifens und dem von der Reaktionsanstiegsanpassungseinheit 32 angepassten Anstiegswert G2 beruht.

**[0046]** 4. Prozesse der Reaktionskraft-Steuereinheiten 42, 52 der Steuervorrichtung 3 Die Prozesse, die von den Reaktionskraft-Steuereinheiten 42, 52 der Steuervorrichtung 3 durchgeführt werden, werden unter Bezugnahme auf die Fig. 4 bis 7 beschrieben. Die Reaktionskraft-Steuereinheiten 42, 52 bestimmen, ob es sich bei der Betriebsart um eine manuelle Betriebsart (S1) handelt. Wenn die Betriebsart nicht die manuelle Betriebsart ist (S1: Nein), kehrt der Prozess zurück.

**[0047]** Wenn die Betriebsart die manuelle Betriebsart ist (S1: Ja), bestimmen die Reaktionskraft-Steuereinheiten 42, 52, ob die Reaktionsmotoren 26, 36 angehalten sind (S2). Wenn die Reaktionsmotoren 26, 36 angehalten sind (S2: Ja), führen die Reaktionskraft-Steuereinheiten 42, 52 einen anfänglichen Reaktionskraft-Steuerprozess durch (S3), und der Prozess kehrt zurück. Der Prozess der initialen

Erzeugung des Reaktionsdrehmoments S3 wird später beschrieben.

**[0048]** Wenn die Reaktionsmotoren 26, 36 nicht angehalten werden (S2: Nein), erlangen die Reaktionskraft-Steuereinheiten 42, 52 die Betriebsdrehmomente Ta1, Ta2 (S4). Danach bestimmen die Reaktionskraft-Steuereinheiten 42, 52, ob die Betriebsdrehmomente Ta1, Ta2 gleich oder kleiner als der vorbestimmte Wert Th1 sind (S5). Wenn die Betriebsdrehmomente Ta1, Ta2 nicht gleich oder kleiner als der vorbestimmte Wert Th1 sind (S5: Nein), führen die Reaktionskraft-Steuereinheiten 42, 52 einen kontinuierlichen Reaktionsmoment-Erzeugungsprozess durch (S6). Der kontinuierliche Reaktionsdrehmoment-Erzeugungsprozess S6 wird später beschrieben.

**[0049]** Wenn die Betriebsdrehmomente Ta1, Ta2 gleich oder kleiner als der vorbestimmte Wert Th1 sind (S5: Ja), führen die Reaktionskraft-Steuereinheiten 42, 52 einen Reaktionskraft-Anhalteprozess (S7) durch. Der Reaktionskraft-Anhalteprozess S7 ist ein Prozess zum Anhalten der Erzeugung der Reaktionskraftmomente Tb1, Tb2 durch die Reaktionsmotoren 26, 36.

**[0050]** Wie es aus der Fig. 5 ersichtlich ist, erlangen die Reaktionskraft-Steuereinheiten 42, 52 im anfänglichen Reaktionskraft-Steuerprozess S3 die Betriebsdrehmomente Ta1, Ta2 (S11). Die Reaktionskraft-Steuereinheiten 42, 52 bestimmen dann, ob die Betriebsdrehmomente Ta1, Ta2 größer als ein vorbestimmter Wert Th2 sind (S12). S11 wird so lange wiederholt, bis die Betriebsdrehmomente Ta1, Ta2 größer werden als der vorbestimmte Wert Th2 (S12: Nein).

**[0051]** Wenn die Betriebsdrehmomente Ta1, Ta2 größer werden als der vorbestimmte Wert Th2 (S12: Ja), bestimmen die Reaktionskraft-Steuereinheiten 42, 52 die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 (S13). Zu diesem Zeitpunkt weisen die Reaktionsmomente Tb1, Tb2 einen voreingestellten Wert A auf, wie es aus der Fig. 7 ersichtlich ist.

**[0052]** Danach erlangen die Reaktionskraft-Steuereinheiten 42, 52 die Drehwinkel  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  (S14). Die Reaktionskraft-Steuereinheiten 42, 52 berechnen dann die Drehrichtungen der manuellen Drehgriffe 21, 31 auf der Grundlage der Drehwinkel  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  (S15). Anschließend erzeugen die Reaktionskraft-Steuereinheiten 42, 52 die ermittelten Reaktionsmomente Tb1, Tb2 in einer Reaktionskraft-Richtung, die die umgekehrte Richtung der berechneten Drehrichtung ist (S16). Damit ist der Vorgang beendet.

**[0053]** Wie es aus der Fig. 6 ersichtlich ist, erlangen die Reaktionskraft-Steuereinheiten 42, 52 in dem kontinuierlichen Reaktionsdrehmoment-Erzeugungsprozess

gungsprozess S6 die Antriebsströme I1, I2 der Motoren 12a, 15a (S21). Als nächstes erlangen die Reaktionskraft-Steuereinheiten 42, 52 die Anstiegswerte G1, G2 (S22). Die Reaktionskraft-Steuereinheiten 42, 52 ermitteln dann die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 auf der Grundlage der Größe der Antriebsströme I1, I2 der Motoren 12a, 15a und der Anstiegswerte G1, G2 (S23).

**[0054]** Wie es aus der **Fig. 7** ersichtlich ist, steigen die Werte der Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 mit zunehmender Größe der Antriebsströme I1, I2 der Motoren 12a, 15a. Die vorliegende Ausführungsform sieht vor, dass die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 in Abhängigkeit von den Größen der Antriebsströme I1, I2 monoton wie eine Linie in einem Liniendiagramm ansteigen. Die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 können jedoch auch so eingestellt werden, dass sie in Bezug auf die Größe der Antriebsströme I1, I2 monoton gekrümmt ansteigen.

**[0055]** Außerdem werden, wie es aus der **Fig. 7** ersichtlich ist, die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 gemäß den Anstiegswerten G1, G2 auf unterschiedliche Werte eingestellt. Beispielsweise werden die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 so eingestellt, dass die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 umso kleiner sind, je kleiner der Lv der Anstiegswerte G1, G2 ist, und dass die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 umso größer sind, je größer der Lv der Anstiegswerte G1, G2 ist.

**[0056]** Die Reaktionskraft-Steuereinheiten 42, 52 erlangen dann die Drehwinkel  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  (S24). Danach berechnen die Reaktionskraft-Steuereinheiten 42, 52 die Drehrichtungen der manuellen Drehgriffe 21, 31 auf der Grundlage der Drehwinkel  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  (S25). Anschließend erzeugen die Reaktionskraft-Steuereinheiten 42, 52 die ermittelten Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 in einer Reaktionskraft-Richtung, die die umgekehrte Richtung der berechneten Drehrichtung ist (S26). Der Vorgang ist damit beendet.

## 5. Verhalten des Reaktionsdrehmoments

**[0057]** Das Verhalten der Drehzahlen der manuellen Drehgriffe 21, 31 mit der Zeit, das Verhalten der Bewegungsgeschwindigkeit des Scheibenkopfes 15 mit der Zeit und das Verhalten der Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 mit der Zeit beim Schleifen des Werkstücks W mit der Schleifscheibe T wird unter Bezugnahme auf **Fig. 8** beschrieben.

**[0058]** Der Bediener dreht die manuellen Drehgriffe 21, 31 von Hand, um das Werkstück W und die Schleifscheibe T relativ zueinander zu bewegen und so das Werkstück W mit der Schleifscheibe T zu schleifen. Es wird davon ausgegangen, dass die Schleifscheibe T im Ausgangszustand in Richtung der X-Achse vom Werkstück W entfernt ist, dass die

Schleifscheibe T dann mit dem Werkstück W in Berührung gebracht wird, um den Schleifvorgang durchzuführen, und dass die Schleifscheibe T nach Beendigung des Schleifvorgangs vom Werkstück W wegbewegt wird. Obwohl das Schleifen in Richtung der X-Achse beschrieben wird, ist das Verhalten beim Schleifen in Richtung der Z-Achse im Wesentlichen das gleiche.

**[0059]** Wie es aus der **Fig. 8** ersichtlich ist, beginnt der Bediener zum Zeitpunkt T1, den manuellen Drehgriff 31 der X-Achse mit niedriger Geschwindigkeit in eine Richtung zu drehen. Dementsprechend steuert die Steuereinheit 51 für die X-Achse den Motor 15a gemäß dem vom Winkelerfassungssensor 37 erfassten Drehwinkel  $\theta_2$ . Daraufhin beginnt der Scheibenkopf 15, sich mit geringer Geschwindigkeit in Richtung X-Achse auf das Werkstück W zu bewegen.

**[0060]** Zu diesem Zeitpunkt erfasst der Drehmomentsensor 38 das Betriebsdrehmoment Ta2 am manuellen Drehgriff 31, unmittelbar nachdem der Bediener begonnen hat, den manuellen X-Achsen-Drehgriff 31 in die eine Richtung zu drehen. Die X-Achsen-Reaktionskraft-Steuereinheit 52 steuert den Reaktionsmotor 36, um das Reaktionsdrehmoment Tb2 zu erzeugen. Mit anderen Worten: Da das vom Drehmomentsensor 38 erfasste Betriebsdrehmoment Ta2 die Steuerung des Reaktionsmotors 36 auslöst, kann das Reaktionsdrehmoment Tb2 in der kurzen Zeit zwischen dem Beginn der Drehung des manuellen Drehgriffs 31 durch den Bediener und dem Beginn der Bewegung des Scheibenkopfs 15 erzeugt werden.

**[0061]** Nachdem sich der Scheibenkopf 15 in Bewegung gesetzt hat, wird das Reaktionsdrehmoment Tb2 auf der Grundlage des Antriebsstroms I2 des Motors 15a, des mit der Reaktionsanstiegswertanpassungseinheit 32 für die X-Achse eingestellten Anstiegswertes G2 und der in **Fig. 7** ersichtlichen Beziehung bestimmt. Der X-Achsen-Reaktionsmotor 36 wird dann so gesteuert, dass er das ermittelte X-Achsen Reaktionsdrehmoment Tb2 erzeugt.

**[0062]** Danach erhöht der Bediener zum Zeitpunkt T2 allmählich die Drehgeschwindigkeit des manuellen Drehgriffs 31 der X-Achse in die eine Richtung. Infolgedessen bewegt sich der Scheibenkopf 15 mit hoher Geschwindigkeit in Richtung der X-Achse auf das Werkstück W zu. Zu diesem Zeitpunkt steuert die X-Achsen-Steuereinheit 51 den Motor 15a, so dass sich der Scheibenkopf 15 mit hoher Geschwindigkeit in Richtung der X-Achse auf das Werkstück W bewegt. Gleichzeitig steuert die X-Achsen-Reaktionskraft-Steuereinheit 52 den X-Achsen-Reaktionsmotor 36, so dass das Reaktionsdrehmoment Tb2 gemäß der in **Fig. 7** ersichtlichen Beziehung auf den manuellen Scheibendrehgriff 31 einwirkt. Mit zunehmender Geschwindigkeit des Scheiben-

kopfs 15 steigt die Belastung des Motors 15a, der den Scheibenkopf 15 bewegt, entsprechend an. Daher steigt der Antriebsstrom I2 des Motors 15a, so dass das vom X-Achsen-Reaktionsmotor 36 erzeugte Reaktionsdrehmoment Tb2 zunimmt. Infolgedessen erhöht sich das Reaktionsdrehmoment Tb2 der X-Achse, das auf den manuellen Drehgriff 31 der X-Achse wirkt.

**[0063]** Anschließend reduziert der Bediener zum Zeitpunkt T3 die Drehgeschwindigkeit des manuellen Drehgriffs 31 der X-Achse. Infolgedessen verringern sich auch die Bewegungsgeschwindigkeit des Scheibenkopfes 15 und das vom X-Achsen-Reaktionsmotor 36 erzeugte Reaktionsdrehmoment Tb2 entsprechend.

**[0064]** Wenn sich der Scheibenkopf 15 mit niedriger Geschwindigkeit in Richtung der X-Achse bewegt, kommt die Schleifscheibe T mit dem Werkstück W in Berührung und die Schleifscheibe T beginnt zum Zeitpunkt T4 mit dem Schleifen des Werkstücks W. Der Schleifwiderstand in diesem Zustand erhöht die Last auf den Motor 15a, der den Scheibenkopf 15 bewegt. Zum Zeitpunkt der Berührung steigt die Belastung des Motors 15a plötzlich an, was zu einem plötzlichen Anstieg des Reaktionsdrehmoments Tb2 in der X-Achse führt, das durch den Reaktionsmotor 36 in der X-Achse erzeugt wird. Daher steigt das Reaktionsdrehmoment Tb2 der X-Achse, das auf den manuellen Drehgriff 31 der X-Achse wirkt, plötzlich an.

**[0065]** Wenn das auf den manuellen X-Achsen-Drehgriff 31 ausgeübte Reaktionsdrehmoment Tb2 plötzlich ansteigt, sinkt die Drehgeschwindigkeit des vom Bediener gedrehten manuellen X-Achsen-Drehgriffs 31 augenblicklich. Der Bediener dreht dann den manuellen Drehgriff 31 der X-Achse wieder mit derselben Drehgeschwindigkeit wie zuvor. Dementsprechend ändern sich auch die Bewegungsgeschwindigkeit des Scheibenkopfes 15 und das vom X-Achsen-Reaktionsmotor 36 erzeugte Reaktionsdrehmoment Tb2.

**[0066]** Danach stoppt der Bediener zum Zeitpunkt T5 die Drehung des manuellen Drehgriffs 31 der X-Achse. Das heißt, das Betriebsdrehmoment Ta2, das auf den manuellen Drehgriff 31 der X-Achse wirkt, wird Null, und die Drehgeschwindigkeit des manuellen Drehgriffs 31 der X-Achse wird Null. Dann wird das Ausfeuern gestartet. Zu diesem Zeitpunkt wird die Bewegungsgeschwindigkeit des Scheibenkopfes 15 null, und das Reaktionsdrehmoment Tb2, das auf den manuellen Drehgriff 31 der X-Achse ausgeübt wird, wird ebenfalls null.

**[0067]** Zum Zeitpunkt T6 ist das Ausfeuern beendet, und der Bediener beginnt, den manuellen Drehgriff 31 der X-Achse in die andere Richtung zu drehen.

Der Bediener dreht ihn zunächst mit niedriger und dann mit hoher Geschwindigkeit. Die Bewegungsgeschwindigkeit des Scheibenkopfes 15 und das vom X-Achsen-Reaktionsmotor 36 erzeugte Reaktionsdrehmoment Tb2 verhalten sich wie es aus der **Fig. 8** ersichtlich ist. Zum Zeitpunkt T7 hält der Bediener die Drehung des manuellen Drehgriffs 31 der X-Achse an.

## 6. Wirkungen

**[0068]** Die obige Ausführungsform ist so konfiguriert, dass die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 durch die an den manuellen Drehgriffen 21, 31 montierten Reaktionsmotoren 26, 36 auf die manuellen Drehgriffe 21, 31 aufgebracht werden. Daher wird durch die Steuerung der Reaktionsmotoren 26, 36 eine hohe Flexibilität bei der Anwendung der Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 auf die manuellen Drehgriffe 21, 31 erreicht.

**[0069]** Darüber hinaus steuert die Steuervorrichtung 3 die Reaktionsmotoren 26, 36, um die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 gemäß der Größe des Schleifwiderstands während des Schleifens zu erzeugen. Wenn der Bediener die manuellen Drehgriffe 21, 31 betätigt, kann er daher während des Schleifens eine Belastung gemäß der Größe des Schleifwiderstands von den manuellen Drehgriffen 21, 31 spüren. Die Größe des Schleifwiderstands variiert je nach Material des Werkstücks W und der Schärfe der Schleifscheibe T sowie der Schnitttiefe. Mit anderen Worten: Die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 variieren in Abhängigkeit vom Material des Werkstücks W und der Schärfe der Schleifscheibe T sowie der Schnitttiefe. Daher kann die Belastung, die der Bediener gemäß der Größe des Schleifwiderstandes an den manuellen Drehgriffen 21, 31 spürt, der Belastung einer manuell betätigten Maschine unter Verwendung von Hydrauliköl ähnlich gemacht werden, oder es kann eine Belastung erzeugt werden, die der Belastung einer manuell betätigten Maschine unter Verwendung von Hydrauliköl weiter angepasst ist. Auf diese Weise kann eine Last mit hoher Genauigkeit auf die manuellen Drehgriffe 21, 31, die der Bediener betätigt, ausgeübt werden, so dass ein genaues Schleifen mit den manuellen Drehgriffen 21, 31 möglich ist.

**[0070]** Gemäß der obigen Ausführungsform ist es daher möglich, eine Schleifmaschine bereitzustellen, die es ermöglicht, eine Last mit hoher Genauigkeit auf die manuellen Drehgriffe 21, 31 aufzubringen, wie eine manuell betätigte Maschine, die Hydrauliköl verwendet, und die die Flexibilität bei der Aufbringung der Last auf die manuellen Drehgriffe 21, 31 erhöhen kann.

**[0071]** Die Steuervorrichtung 3 verwendet die Größen der Antriebsströme I1, I2 der Motoren 12a,

15a während des Schleifens als Größe des Schleifwiderstands und steuert die Reaktionsmotoren 26, 36 so, dass die Reaktionsmotoren 26, 36 die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 gemäß den Größen der Antriebsströme I1, I2 der Motoren 12a, 15a erzeugen. Die gewünschte Steuerung kann also einfach und zuverlässig über die Größen der Antriebsströme I1, I2 der Motoren 12a, 15a erfolgen.

**[0072]** Wenn die manuellen Drehgriffe 21, 31 gedreht werden, während nicht geschliffen wird, veranlasst die Steuervorrichtung 3 die Reaktionsmotoren 26, 36, die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 gemäß den Größen der Antriebsströme I1, I2 der Motoren 12a, 15a zu erzeugen, während nicht geschliffen wird. Mit anderen Worten, die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 können nicht nur während des Schleifens, sondern auch im Ruhezustand auf die manuellen Drehgriffe 21, 31 ausgeübt werden. Dadurch kann der Bediener die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 spüren, während er die manuellen Drehgriffe 21, 31 betätigt.

**[0073]** Die Schleifmaschine 1 hat außerdem Drehmomentsensoren 28, 38, die die auf die manuellen Drehgriffe 21, 31 wirkenden Betriebsdrehmomente Ta1, Ta2 erfassen. Die Steuervorrichtung 3 wird durch die Erfassung der Betriebsdrehmomente Ta1, Ta2 durch die Drehmomentsensoren 28, 38 ausgelöst, um die Reaktionsmotoren 26, 36 zu veranlassen, die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 zu erzeugen. Da die Erfassung der Betriebsdrehmomente Ta1, Ta2 durch die Drehmomentsensoren 28, 38 als Auslöser verwendet wird, können die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 reaktionsschnell auf die manuellen Drehgriffe 21, 31 angewendet werden. Mit anderen Worten, die Empfindlichkeit der manuellen Drehgriffe 21, 31 kann verbessert werden.

**[0074]** Wenn die Betriebsdrehmomente Ta1, Ta2 auf den vorbestimmten Wert Th1 oder weniger abfallen, veranlasst die Steuervorrichtung 3 die Reaktionsmotoren 26, 36, die Erzeugung der Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 anzuhalten. Da, wie vorstehend beschrieben, die Betriebsdrehmomente Ta1, Ta2 verwendet werden, kann die Erzeugung der Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 angehalten werden, wenn die manuellen Drehgriffe 21, 31 angehalten werden. Mit anderen Worten, die Empfindlichkeit der manuellen Drehgriffe 21, 31 kann verbessert werden.

**[0075]** Die Schleifmaschine 1 hat außerdem die Winkelerfassungssensoren 27, 37, die die Drehwinkel  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  der manuellen Drehgriffe 21, 31 erfassen. Die Steuervorrichtung 3 ermittelt die Drehrichtungen der manuellen Drehgriffe 21, 31 auf der Grundlage der Erfassungswerte  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  von den Winkelerfassungssensoren 27, 37 und steuert die Reaktionsmotoren 26, 36, um die Reaktionsdrehmomente Tb1,

Tb2 in einer Richtung zu erzeugen, die den ermittelten Drehrichtungen der manuellen Drehgriffe 21, 31 entgegengesetzt ist. So ist es möglich, die Richtungen, in denen die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 erzeugt werden sollen, zuverlässig zu erlangen.

Die Schleifmaschine 1 hat außerdem die

**[0076]** Reaktionsanstiegswertanpassungseinheiten 22, 32, die so konfiguriert sind, dass sie die Verstärkungswerte G1, G2 für die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 anpassen. Die Steuervorrichtung 3 steuert die Reaktionsmotoren 26, 36, um die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 zu erzeugen, die auf der Größe des Schleifwiderstands während des Schleifens und den von den Reaktionsanstiegswertanpassungseinheiten 22, 32 angepassten Anstiegswerten G1, G2 beruhen. Der Bediener kann zum Beispiel die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 an seine gewünschte Größe anpassen. Die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2, die auf die manuellen Drehgriffe 21, 31 eingebracht werden sollen, können also nach Belieben angepasst werden.

**[0077]** Jede Reaktionsanstiegswertanpassungseinheit 22, 32 hat vorzugsweise mindestens eines der folgenden manuell betätigbaren Elemente: ein Einstellknopfelement, einen Einstellknopf und einen Einstellhebel. Die Anstiegswerte G1, G2 lassen sich mit einem dieser Elemente leicht anpassen.

(Zweite Ausführungsform)

**[0078]** Die vorliegende Ausführungsform einer Schleifmaschine 101 gemäß der vorliegenden Ausführungsform wird unter Bezugnahme auf **Fig. 9** beschrieben. In der vorliegenden Ausführungsform sind die gleichen Konfigurationen wie bei der Schleifmaschine 1 der ersten Ausführungsform mit den gleichen Zeichen bezeichnet. Die Schleifmaschine 101 hat einen Schleifmaschinenkörper 102 und eine Steuervorrichtung 103. Der Schleifmaschinenkörper 102 hat einen Sensor für akustische Emissionen (AE) 110. Der AE-Sensor 110 ist z.B. am Spindelstock 13 angebracht und erfasst ein AE-Signal AEs, das eine elastische Welle (akustisches Signal) ist. Die Position des AE-Sensors 110 kann jedoch auch auf dem Tisch 12, dem Reitstock 14, dem Scheibenkopf 15 usw. statt auf dem Spindelstock 13 sein.

**[0079]** Die Steuervorrichtung 103 hat als Bauteile, die den Betrieb der manuellen Drehgriffe 21, 31 betreffen, die Z-Achsen-Steuereinheit 41, eine Z-Achsen-Reaktionskraft-Steuereinheit 142, die X-Achsen-Steuereinheit 51 und eine X-Achsen-Reaktionskraft-Steuereinheit 152. Die Z-Achsen-Steuereinheit 142 steuert den Z-Achsen-Reaktionsmotor 26, um das Z-Achsen-Reaktionsdrehmoment Tb1 gemäß der Größe des Schleifwiderstands beim Schleifen zu erzeugen. In der vorliegenden Ausführungsform

rungsform verwendet die Z-Achsen-Steuereinheit 142 die Größe des AE-Signals AEs als Größe des Schleifwiderstands und steuert den Z-Achsen-Reaktionsmotor 26 so, dass der Z-Achsen-Reaktionsmotor 26 das Z-Achsen-Reaktionsdrehmoment Tb1 gemäß der Größe des AE-Signals AEs erzeugt.

**[0080]** Die X-Achsen-Reaktionskraft-Steuereinheit 152 steuert den X-Achsen-Reaktionsmotor 36, um das X-Achsen-Reaktionsdrehmoment Tb2 gemäß der Größe des Schleifwiderstandes beim Schleifen zu erzeugen. In der vorliegenden Ausführungsform verwendet die X-Achsen-Reaktionskraft-Steuereinheit 152 die Größe des AE-Signals AEs als Größe des Schleifwiderstands und steuert den X-Achsen-Reaktionsmotor 36 so, dass der X-Achsen-Reaktionsmotor 36 das X-Achsen-Reaktionsdrehmoment Tb2 gemäß der Größe des AE-Signals AEs erzeugt.

**[0081]** In der vorliegenden Ausführungsform erlangen die Reaktionskraft-Steuereinheiten 142, 152 die von den Winkelerfassungssensoren 27, 37 erfassten Drehwinkel  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  der manuellen Drehgriffe 21, 31, die von den Drehmomentsensoren 28, 38 erfassten Betriebsdrehmomente Ta1, Ta2, die von den Reaktionsanstiegswertanpassungseinheiten 22, 32 eingestellten Anstiegswerte G1, G2 und das AE-Signal AEs. Die Reaktionskraft-Steuereinheiten 142, 152 steuern dann die Reaktionsmotoren 26, 36 mit Hilfe dieser Informationen. Dieses Steuerungsverfahren ist das gleiche wie in der ersten Ausführungsform.

**[0082]** Als nächstes werden die Prozesse, die von den Reaktionskraft-Steuereinheiten 142, 152 der Steuervorrichtung 3 ausgeführt werden, unter Bezugnahme auf die Fig. 10 und 11 beschrieben. Von den Prozessen, die von den Reaktionskraft-Steuereinheiten 142, 152 durchgeführt werden, sind ein Reaktionskraft-Steuerprozess und ein initialer Reaktionsdrehmoment-Erzeugungsprozess dieselben wie der in Fig. 4 ersichtliche Reaktionskraft-Steuerprozess und der in Fig. 5 ersichtliche initiale Reaktionsdrehmoment-Erzeugungsprozess der ersten Ausführungsform. Der kontinuierliche Reaktionsdrehmoment-Erzeugungsprozess S6, der von den Reaktionskraft-Steuereinheiten 142, 152 durchgeführt wird, ist aus der Fig. 10 ersichtlich.

**[0083]** Wie es aus der Fig. 10 ersichtlich ist, erlangen die Reaktionskraft-Steuereinheiten 142, 152 in dem aus der Fig. 4 ersichtlichen kontinuierlichen Reaktionsdrehmoment-Erzeugungsprozess S6 das AE-Signal AEs, das ein Erfassungswert des AE-Sensors 110 ist (S31). Als nächstes erlangen die Reaktionskraft-Steuereinheiten 142, 152 die Anstiegswerte G1, G2 (S32). Die Reaktionskraft-Steuereinheiten 142, 152 bestimmen dann die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 auf der Grundlage der Größe des AE-Signals AEs und der Anstiegswerte G1, G2 (S33).

**[0084]** Wie es aus der Fig. 11 ersichtlich ist, steigen die Werte der Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 mit zunehmender Größe des AE-Signals AEs. Die vorliegende Ausführungsform sieht vor, dass die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 in Abhängigkeit von der Größe des AE-Signals AEs monoton wie eine Linie in einem Liniendiagramm ansteigen. Die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 können jedoch auch so eingestellt werden, dass sie in Bezug auf die Größe des AE-Signals AEs monoton gekrümmt ansteigen.

**[0085]** Außerdem werden die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 gemäß den Anstiegswerten G1, G2 auf unterschiedliche Werte eingestellt. Beispielsweise werden die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 so eingestellt, dass die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 umso kleiner sind, je kleiner der Lv der Anstiegswerte G1, G2 ist, und dass die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 umso größer sind, je größer der Lv der Anstiegswerte G1, G2 ist.

**[0086]** Die Reaktionskraft-Steuereinheiten 142, 152 erlangen dann die Drehwinkel  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  (S34). Danach berechnen die Reaktionskraft-Steuereinheiten 142, 152 die Drehrichtungen der manuellen Drehgriffe 21, 31 auf der Grundlage der Drehwinkel  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  (S35). Anschließend erzeugen die Reaktionskraft-Steuereinheiten 142, 152 die ermittelten Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 in einer Reaktionskraft-Richtung, die die umgekehrte Richtung der berechneten Drehrichtung ist (S36). Der Vorgang ist damit beendet.

**[0087]** Die vorliegende Ausführungsform sieht vor, dass auch bei Verwendung des vom AE-Sensor 110 erfassten AE-Signals AEs die Reaktionsmotoren 26, 36 gemäß dem Schleifwiderstand während des Schleifens beliebig gesteuert werden können.

**[0088]** Der AE-Sensor 110 erfasst hauptsächlich eine elastische Welle, die durch den Schleifwiderstand erzeugt wird. Daher erfasst der AE-Sensor 110 fast keine elastische Welle, wenn sich der Scheibenkopf 15 mit der Schleifscheibe T bewegt, die nicht in Berührung mit dem Werkstück W steht. Dementsprechend ist, wie es aus der Fig. 11 ersichtlich ist, die Beziehung zwischen den Reaktionsdrehmomenten Tb1, Tb2 so, dass die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 das voreingestellte Drehmoment A sind, wenn das AE-Signal AEs Null ist. Mit anderen Worten: Wenn die manuellen Drehgriffe 21, 31 gedreht werden, während nicht geschliffen wird, veranlassen die Steuereinheiten 142, 152 für die Reaktionskraft-Steuereinheiten die Reaktionsmotoren 26, 36, das Drehmoment A als die voreingestellten Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 zu erzeugen.

(Dritte Ausführungsform)

**[0089]** Die Konfiguration einer Schleifmaschine 201 gemäß der vorliegenden Ausführungsform wird unter Bezugnahme auf **Fig. 12** beschrieben. In der vorliegenden Ausführungsform sind die gleichen Konfigurationen wie in der Schleifmaschine 1 der ersten Ausführungsform mit den gleichen Bezugszeichen bezeichnet. Die Schleifmaschine 201 hat einen Schleifmaschinenkörper 202 und eine Steuervorrichtung 203. Der Schleifmaschinenkörper 202 hat eine Z-Achsen-Griffeinheit 216 und eine X-Achsen-Griffeinheit 217.

**[0090]** Die Griffeinheiten 216, 217 haben jeweils die manuellen Drehgriffe 21, 31, die Reaktionsanstiegswertanpassungseinheiten 22, 32, die Wellenelemente 223, 233, die Reaktionsmotoren 226, 236 und die Winkelerfassungssensoren 227, 237. Die Wellenelemente 223, 233 sind jeweils mit den manuellen Drehgriffen 21, 31 einstückig und werden drehbar von dem Bett 11 oder von an dem Bett 11 befestigten Elementen gehalten. Die Reaktionsmotoren 226, 236 sind jeweils auf den Wellenelementen 223, 233 montiert. Wenn die Reaktionsmotoren 226, 236 angetrieben werden, werden die Reaktionsdrehmomente  $Tb1$ ,  $Tb2$  auf die Wellenelemente 223, 233 übertragen, die an den Antriebswellen der Reaktionsmotoren 226, 236 befestigt sind, und die Reaktionsdrehmomente  $Tb1$ ,  $Tb2$  werden auf die manuellen Drehgriffe 21, 31 übertragen.

**[0091]** Die Winkelerfassungssensoren 227, 237 sind an den Reaktionsmotoren 226, 236 angebracht und erfassen die Winkel  $\theta1$ ,  $\theta2$  der Antriebswellen der Reaktionsmotoren 226, 236. Das heißt, die Winkelerfassungssensoren 227, 237 erfassen im Wesentlichen die Drehwinkel  $\theta1$ ,  $\theta2$  der manuellen Drehgriffe 21, 31. Bei den Winkelerfassungssensoren 227, 237 handelt es sich zum Beispiel um Encoder.

**[0092]** Die Steuervorrichtung 203 hat als Bauteile, die den Betrieb der manuellen Drehgriffe 21, 31 betreffen, die Z-Achsen-Steuereinheit 41, eine Z-Achsen-Reaktionskraft-Steuereinheit 242, die X-Achsen-Steuereinheit 51 und eine X-Achsen-Reaktionskraft-Steuereinheit 252. Die Reaktionskraft-Steuereinheiten 242, 252 steuern die Reaktionsmotoren 226, 236, um die Reaktionsdrehmomente  $Tb1$ ,  $Tb2$  gemäß der Größe des Schleifwiderstands beim Schleifen zu erzeugen. In der vorliegenden Ausführungsform erlangen die Reaktionskraft-Steuereinheiten 242, 252 die von den Winkelerfassungssensoren 227, 237 erfassten Drehwinkel  $\theta1$ ,  $\theta2$  der manuellen Drehgriffe 21, 31, die von den Reaktionsanstiegswertanpassungseinheiten 22, 32 eingestellten Anstiegswerte  $G1$ ,  $G2$  und die Antriebsströme  $I1$ ,  $I2$  der Motoren 12a, 15a. Die Reaktionskraft-Steuereinheiten

242, 252 steuern dann die Reaktionsmotoren 226, 236 unter Verwendung dieser Informationen.

**[0093]** Die Prozesse, die von den Reaktionskraft-Steuereinheiten 242, 252 der Steuervorrichtung 3 durchgeführt werden, werden unter Bezugnahme auf die **Fig. 13** und **14** beschrieben. Die Reaktionskraft-Steuereinheiten 242, 252 bestimmen, ob es sich bei der Betriebsart um die manuelle Betriebsart handelt (S41). Wenn die Betriebsart nicht die manuelle Betriebsart ist (S41: Nein), kehrt der Prozess zurück.

**[0094]** Wenn die Betriebsart die manuelle Betriebsart ist (S41: Ja), bestimmen die Reaktionskraft-Steuereinheiten 242, 252, ob die Reaktionsmotoren 226, 236 angehalten sind (S42). Wenn die Reaktionskraft-Motoren 226, 236 angehalten sind (S42: Ja), führen die Reaktionskraft-Steuereinheiten 242, 252 einen initialen Reaktionsdrehmoment-Erzeugungsprozess durch (S43), und der Prozess kehrt zurück. Der initiale Reaktionsdrehmoment-Erzeugungsprozess S43 wird später beschrieben.

**[0095]** In **Fig. 13** erlangen die Reaktionskraft-Steuereinheiten 242, 252 die Drehwinkel  $\theta1$ ,  $\theta2$  (S44), wenn die Reaktionsmotoren 226, 236 nicht angehalten sind (S42: Nein). Danach bestimmen die Reaktionskraft-Steuereinheiten 242, 252, ob die Änderungsbeträge  $\Delta\theta1$ ,  $\Delta\theta2$  der Drehwinkel  $\theta1$ ,  $\theta2$  gleich oder kleiner als ein vorbestimmter Wert  $Th3$  sind (S45). Wenn die Änderungsbeträge  $\Delta\theta1$ ,  $\Delta\theta2$  in den Drehwinkeln  $\theta1$ ,  $\theta2$  nicht gleich oder kleiner als der vorbestimmte Wert  $Th3$  sind (S45: Nein), führen die Reaktionskraft-Steuereinheiten 242, 252 einen kontinuierlichen Reaktionsdrehmoment-Erzeugungsprozess durch (S46). Der kontinuierliche Reaktionsdrehmoment-Erzeugungsprozess S46 ist derselbe wie der in **Fig. 6** ersichtliche Prozess in der ersten Ausführungsform.

**[0096]** Wenn die Änderungsbeträge  $\Delta\theta1$ ,  $\Delta\theta2$  der Drehwinkel  $\theta1$ ,  $\theta2$  gleich oder kleiner als der vorbestimmte Wert  $Th3$  (S45: Ja) sind, führen die Reaktionskraft-Steuereinheiten 242, 252 einen Reaktionsdrehmoment-Anhalteprozess (S47) durch. Der Reaktionskraft-Anhalteprozess S47 ist ein Prozess, der die Erzeugung der Reaktionsdrehmomente  $Tb1$ ,  $Tb2$  durch die Reaktionsmotoren 226, 236 anhält.

**[0097]** Wie es aus der **Fig. 14** ersichtlich ist, erlangen die Reaktionskraft-Steuereinheiten 242, 252 im initialen Reaktionsdrehmoment-Erzeugungsprozess S43 die Drehwinkel  $\theta1$ ,  $\theta2$  (S51). Die Reaktionskraft-Steuereinheiten 242, 252 bestimmen dann, ob die Änderungsbeträge  $\Delta\theta1$ ,  $\Delta\theta2$  in den Drehwinkeln  $\theta1$ ,  $\theta2$  größer sind als ein vorbestimmter Wert  $Th4$  (S52). S51 wird so lange wiederholt, bis die Änderungsbeträge  $\Delta\theta1$ ,  $\Delta\theta2$  in den Drehwinkeln  $\theta1$ ,  $\theta2$

größer werden als der vorbestimmte Wert Th4 (S52: Nein).

**[0098]** Wenn die Änderungsbeträge  $\Delta\theta_1$ ,  $\Delta\theta_2$  in den Drehwinkeln  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  größer werden als der vorbestimmte Wert Th4 (S52: Ja), bestimmen die Reaktionskraft-Steuereinheiten 242, 252 die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 (S53). Zu diesem Zeitpunkt weisen die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 den voreingestellten Wert A auf, wie es aus der **Fig. 7** ersichtlich ist.

**[0099]** Danach berechnen die Reaktionskraft-Steuereinheiten 242, 252 die Drehrichtungen der manuellen Drehgriffe 21, 31 auf der Grundlage der Drehwinkel  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  (S54). Anschließend erzeugen die Reaktionskraft-Steuereinheiten 242, 252 die ermittelten Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 in einer Reaktionskraft-Richtung, die die umgekehrte Richtung der berechneten Drehrichtung ist (S45). Der Vorgang ist damit beendet.

**[0100]** Die vorliegende Ausführungsform sieht vor, dass die Steuervorrichtung 3 anhand der Erfassungswerte der Winkelerfassungssensoren 227, 237 feststellt, dass die manuellen Drehgriffe 21, 31 gedreht werden, und durch die Feststellung, dass die manuellen Drehgriffe 21, 31 gedreht werden, die Reaktionsmotoren 226, 236 veranlasst, die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 zu erzeugen. Das vereinfacht die Konfigurationen der Griffereinheiten 216, 217.

(Vierte Ausführungsform)

**[0101]** Die Schleifmaschine 201 der vorliegenden Ausführungsform unterscheidet sich von der dritten Ausführungsform in den Prozessen, die von den Reaktionskraft-Steuereinheiten 242, 252 durchgeführt werden. Die Prozesse, die von den Reaktionskraft-Steuereinheiten 242, 252 ausgeführt werden, werden unter Bezugnahme auf **Fig. 15** und **16** beschrieben. Die vorliegende Ausführungsform sieht vor, dass die Reaktionskraft-Steuereinheiten 242, 252 die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 stets auf der Grundlage der Antriebsströme I1, I2 der Motoren 12a, 15a und der Anstiegswerte G1, G2 ermitteln.

**[0102]** Wie es aus der **Fig. 15** ersichtlich ist, bestimmen die Reaktionskraft-Steuereinheiten 242, 252, ob es sich bei der Betriebsart um eine manuelle Betriebsart handelt (S61). Wenn die Betriebsart nicht die manuelle Betriebsart ist (S61: Nein), kehrt der Prozess zurück.

**[0103]** Wenn die Betriebsart die manuelle Betriebsart ist (S61: Ja), werden die Antriebsströme I1, I2 der Motoren 12a, 15a erlangt (S62). Die Reaktionskraft-Steuereinheiten 242, 252 erlangen dann die

Anstiegswerte G1, G2 (S63). Danach ermitteln die Reaktionskraft-Steuereinheiten 242, 252 die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 auf der Grundlage der Größe der Antriebsströme I1, I2 der Motoren 12a, 15a und der Anstiegswerte G1, G2 (S64).

**[0104]** Wie es aus der **Fig. 16** ersichtlich ist, steigen die Werte der Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 mit zunehmender Größe der Antriebsströme I1, I2 der Motoren 12a, 15a. Die vorliegende Ausführungsform sieht vor, dass die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 in Abhängigkeit von den Größen der Antriebsströme I1, I2 monoton wie eine Linie in einem Liniendiagramm ansteigen. Die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 können jedoch auch so eingestellt werden, dass sie in Bezug auf die Größe der Antriebsströme I1, I2 monoton und gekrümmt ansteigen.

**[0105]** Außerdem werden, wie es aus der **Fig. 16** ersichtlich ist, die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 gemäß den Anstiegswerten G1, G2 auf unterschiedliche Werte eingestellt. Beispielsweise werden die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 so eingestellt, dass die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 umso kleiner sind, je kleiner der Lv der Anstiegswerte G1, G2 ist, und dass die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 umso größer sind, je größer der Lv der Anstiegswerte G1, G2 ist.

**[0106]** Die Reaktionskraft-Steuereinheiten 242, 252 erlangen dann die Drehwinkel  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  (S65). Danach berechnen die Reaktionskraft-Steuereinheiten 242, 252 die Drehrichtungen der manuellen Drehgriffe 21, 31 auf der Grundlage der Drehwinkel  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  (S66). Anschließend erzeugen die Reaktionskraft-Steuereinheiten 242, 252 die ermittelten Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2 in einer Reaktionskraft-Richtung, die die umgekehrte Richtung der berechneten Drehrichtung ist (S67). Der Vorgang ist damit beendet.

**[0107]** Die vorliegende Ausführungsform sieht vor, dass die Steuervorrichtung 3 die Reaktionsdrehmomente Tb1, Tb2, die auf der Grundlage der Antriebsströme I1, I2 der Motoren 12a, 15a und der Anstiegswerte G1, G2 ermittelt wurden, stets von den Reaktionsmotoren 226, 236 erzeugen lässt. Das vereinfacht die Konfigurationen der Griffereinheiten 216, 217.

(Andere)

**[0108]** In der dritten und vierten Ausführungsform können die Reaktionskraft-Steuereinheiten 242, 252 anstelle der Größen der Antriebsströme I1, I2 der Motoren 12a, 15a die Größe des AE-Signals AEs in der Ausführungsform verwenden.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- JP 2015-157345 [0007]
- JP 2015 - 157 345 A [0007]

**Patentansprüche**

1. Schleifmaschine (1, 101, 201), mit:  
 einer Schleifscheibe (T), die ein Werkstück (W) schleift;  
 einem beweglichen Körper (12, 15), der die Schleifscheibe relativ zu dem Werkstück bewegt;  
 einem Bewegungsmotor (12a, 15a), der den beweglichen Körper bewegt;  
 einem manuellen Drehgriff (21, 31), der eine Position des sich bewegenden Körpers steuert;  
 einem Reaktionsmotor (26, 36, 226, 236), der an dem manuellen Drehgriff angebracht und konfiguriert ist, ein Reaktionsdrehmoment (Tb1, Tb2) auf den manuellen Drehgriff auszuüben, wenn der manuelle Drehgriff gedreht wird; und  
 einer Steuervorrichtung (3, 103, 203), die den Bewegungsmotor gemäß einem Drehwinkel ( $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ) des manuellen Drehgriffs steuert und den Reaktionsmotor steuert, das Reaktionsdrehmoment gemäß einer Größe des Schleifwiderstands während des Schleifens zu erzeugen.

2. Schleifmaschine (1, 201) nach Anspruch 1, wobei die Steuervorrichtung eine Größe eines Antriebsstroms des Bewegungsmotors während des Schleifens als die Größe des Schleifwiderstands verwendet und den Reaktionsmotor steuert, um den Reaktionsmotor zu veranlassen, das Reaktionsdrehmoment gemäß der Größe des Antriebsstroms des Bewegungsmotors zu erzeugen.

3. Schleifmaschine (1, 201) gemäß Anspruch 2, wobei, wenn der manuelle Drehgriff gedreht wird, während nicht geschliffen wird, die Steuervorrichtung den Reaktionsmotor veranlasst, das Reaktionsdrehmoment gemäß der Größe des Antriebsstroms des Bewegungsmotors zu erzeugen, während nicht geschliffen wird.

4. Schleifmaschine (101) gemäß Anspruch 1, die außerdem einen AE-Sensor (110) hat, der ein dem Schleifen zugeordnetes akustisches Emissionssignal (AEs) erfasst, wobei die Steuervorrichtung eine Größe des AE-Signals als Größe des Schleifwiderstands verwendet und die Steuervorrichtung den Reaktionsmotor steuert, den Reaktionsmotor zu veranlassen, das Reaktionsdrehmoment gemäß der Größe des AE-Signals zu erzeugen.

5. Schleifmaschine (101) gemäß Anspruch 4, wobei, wenn der manuelle Drehgriff gedreht wird, während nicht geschliffen wird, die Steuervorrichtung den Reaktionsmotor veranlasst, das im Voraus eingestellte Reaktionsdrehmoment zu erzeugen.

6. Schleifmaschine (1, 101) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, außerdem mit einem Drehmomentsensor (28, 38), der das auf den manuellen Drehgriff ausgeübte Betriebsdrehmoment (Ta1,

Ta2) erfasst, wobei die Steuervorrichtung durch Erfassen des Betriebsdrehmoments durch den Drehmomentsensor ausgelöst wird, um den Reaktionsmotor zu veranlassen, das Reaktionsdrehmoment zu erzeugen.

7. Schleifmaschine (1, 101) gemäß Anspruch 6, wobei die Steuervorrichtung, wenn das Betriebsdrehmoment auf einen vorbestimmten Wert (Th1) oder weniger abfällt, den Reaktionsmotor veranlasst, die Erzeugung des Reaktionsdrehmoments anzuhalten.

8. Schleifmaschine (1, 101) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, die außerdem einen Drehmomentsensor (28, 38) hat, der das auf den manuellen Drehgriff ausgeübte Betriebsdrehmoment (Ta1, Ta2) erfasst, wobei, wenn das Betriebsdrehmoment auf einen vorbestimmten Wert (Th1) oder weniger sinkt, die Steuervorrichtung den Reaktionsmotor veranlasst, die Erzeugung des Reaktionsdrehmoments anzuhalten.

9. Schleifmaschine (1, 101) gemäß einem der Ansprüche 6 bis 8, die außerdem einen Winkelerfassungssensor (27, 37) hat, der einen Drehwinkel des manuellen Drehgriffs erfasst, wobei die Steuervorrichtung eine Drehrichtung des manuellen Drehgriffs auf der Grundlage eines Erfassungswerts von dem Winkelerfassungssensor bestimmt und den Reaktionsmotor steuert, um das Reaktionsdrehmoment in einer Richtung zu erzeugen, die der bestimmten Drehrichtung des manuellen Drehgriffs entgegengesetzt ist.

10. Schleifmaschine (201) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, die außerdem einen Winkelerfassungssensor (227, 237) hat, der einen Drehwinkel des manuellen Drehgriffs erfasst, wobei die Steuervorrichtung auf der Grundlage eines Erfassungswerts von dem Winkelerfassungssensor bestimmt, dass der manuelle Drehgriff gedreht wird, und durch die Bestimmung, dass der manuelle Drehgriff gedreht wird, ausgelöst wird, um den Reaktionsmotor zu veranlassen, das Reaktionsdrehmoment zu erzeugen.

11. Schleifmaschine (1, 101, 201) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10, außerdem mit einer Reaktionsanstiegswertanpassungseinheit (22, 32), die so konfiguriert ist, dass sie in der Lage ist, einen Anstiegswert (G1, G2) für das Reaktionsdrehmoment anzupassen, wobei die Steuervorrichtung den Reaktionsmotor steuert, um das Reaktionsdrehmoment zu erzeugen, das auf der Grundlage der Größe des Schleifwiderstands während des Schleifens und des von der Reaktionsanstiegswertanpassungseinheit angepassten Anstiegswerts erhalten wird.

12. Schleifmaschine (1, 101, 201) gemäß Anspruch 11, wobei die Reaktionsanstiegswertanpassungseinheit mindestens eines aus einem manuell betätigbaren Einstellknopfelement, einem Einstellknopf und einem Einstellhebel hat.

13. Schleifmaschine (1, 101, 201) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei der bewegliche Körper (12, 15), der Bewegungsmotor (12a, 15a), der manuelle Drehgriff (21, 31) und der Reaktionsmotor (26, 36, 226, 236) jeweils als Konfiguration (15, 15a, 31, 36, 236) bereitgestellt ist, die die Schleifscheibe relativ zum Werkstück in einer radialen Richtung des Werkstücks bewegt, und eine Konfiguration (12, 12a, 21, 26, 226), die die Schleifscheibe relativ zum Werkstück in einer axialen Richtung des Werkstücks bewegt.

Es folgen 16 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

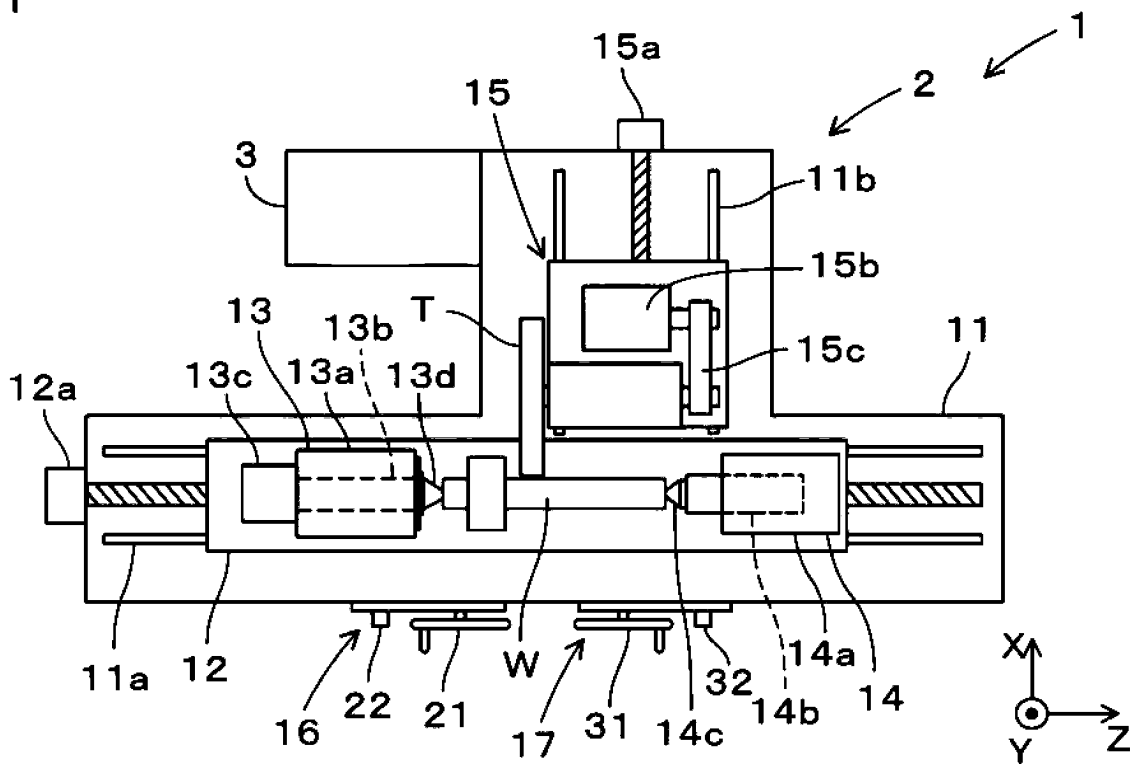


FIG. 2

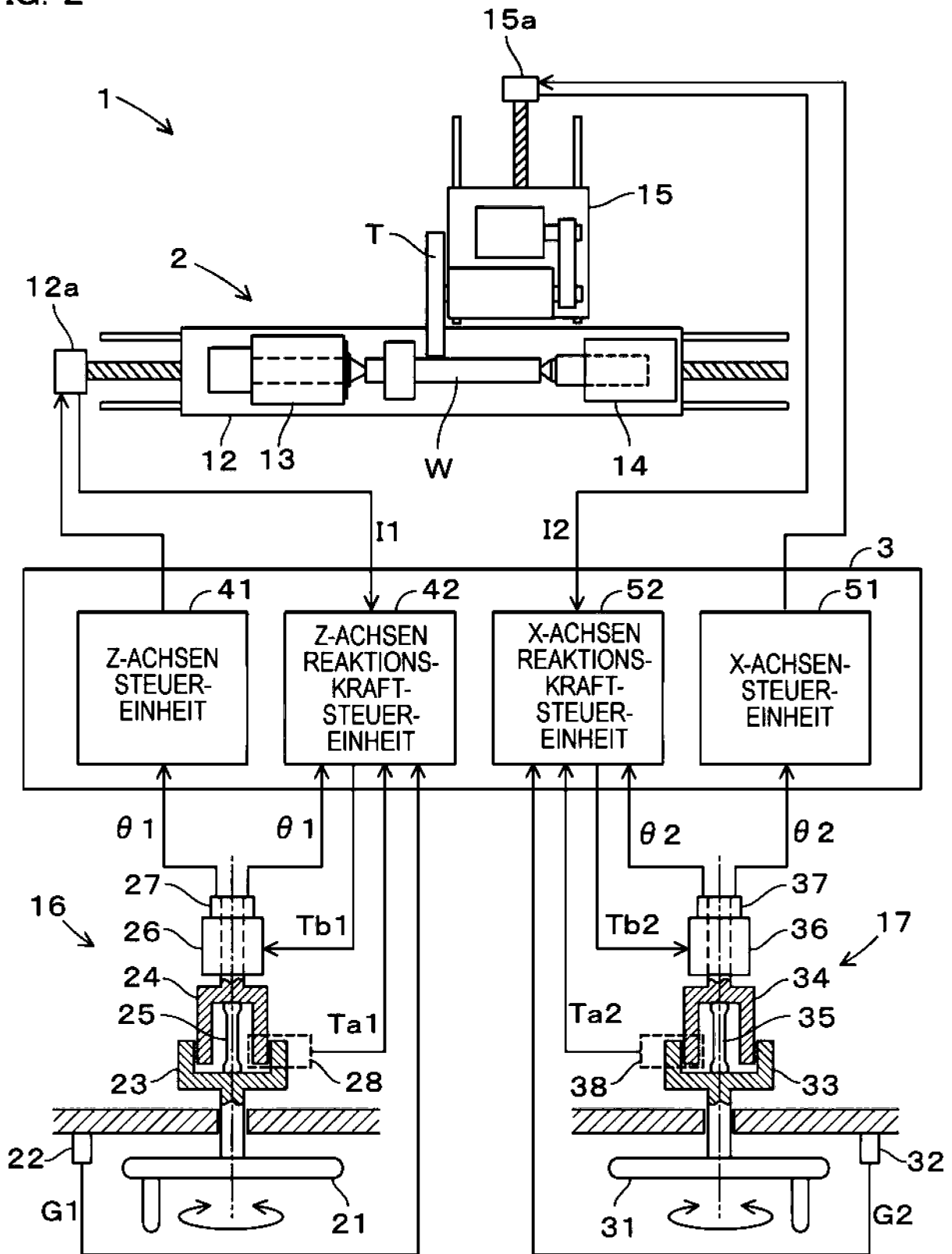


FIG. 3

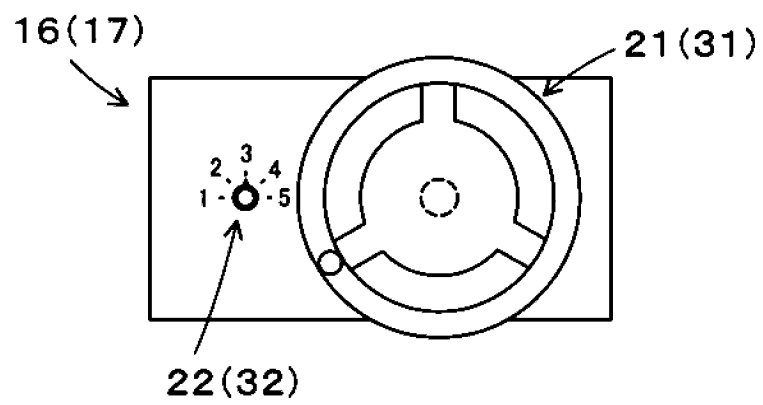


FIG. 4

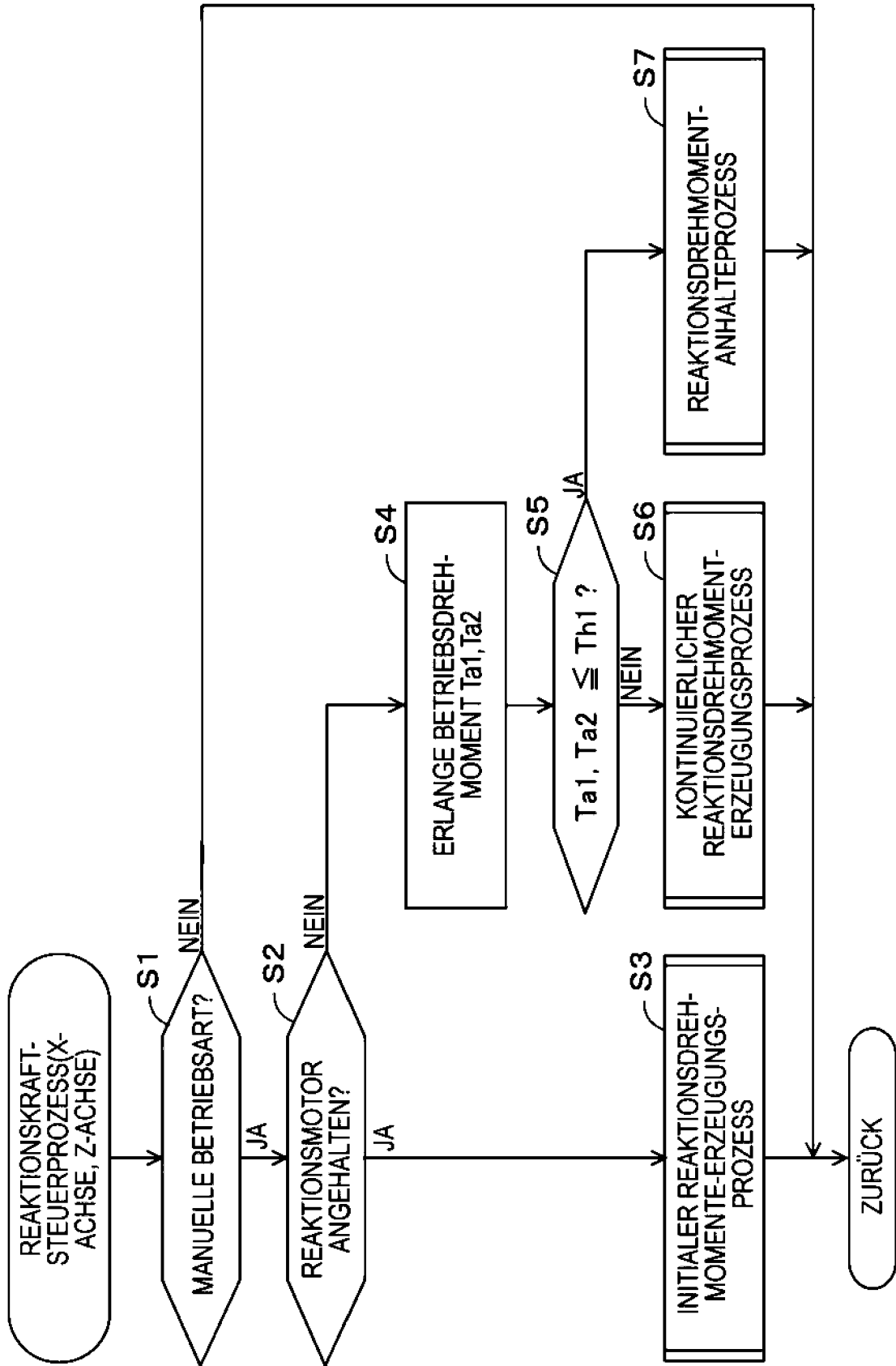


FIG. 5

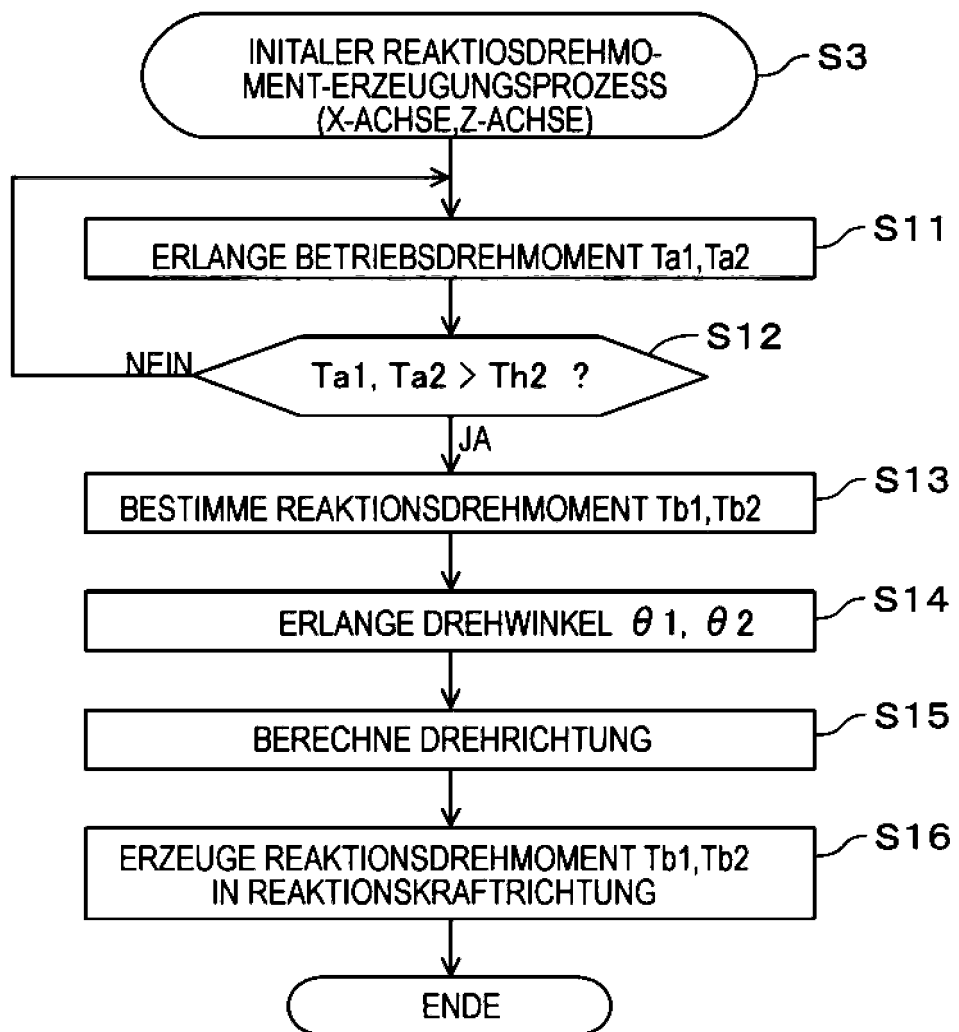


FIG. 6

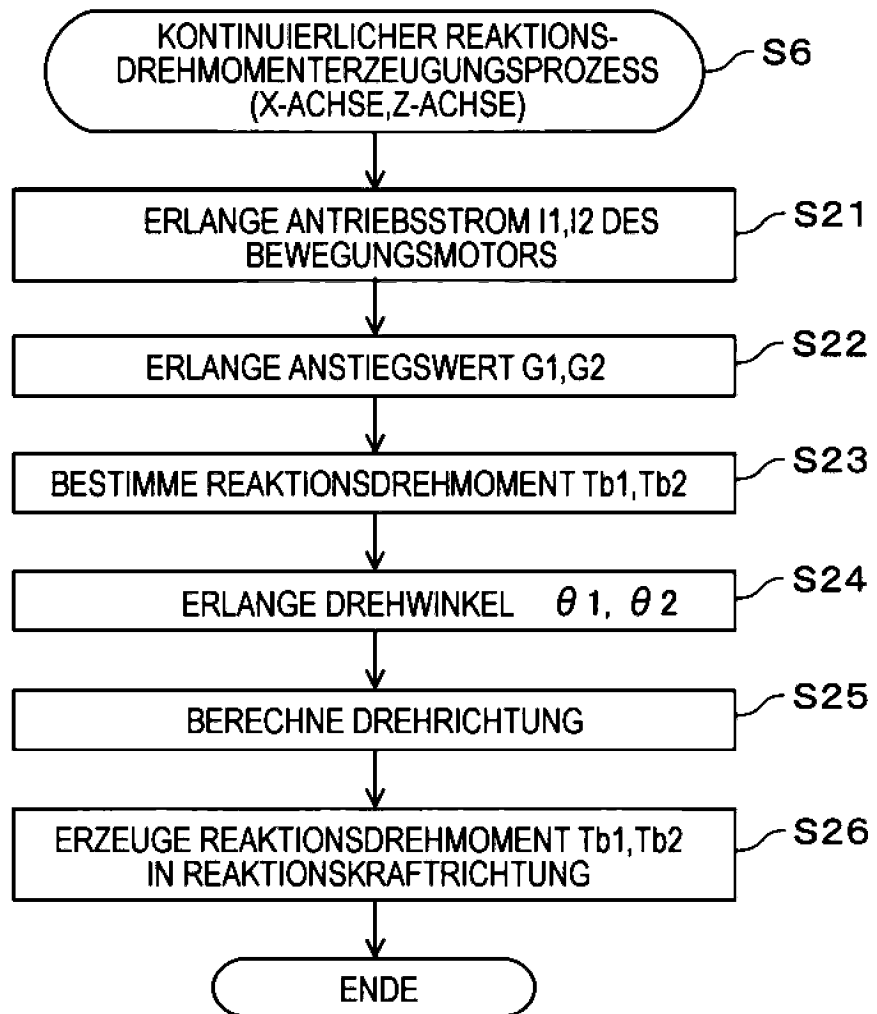


FIG. 7

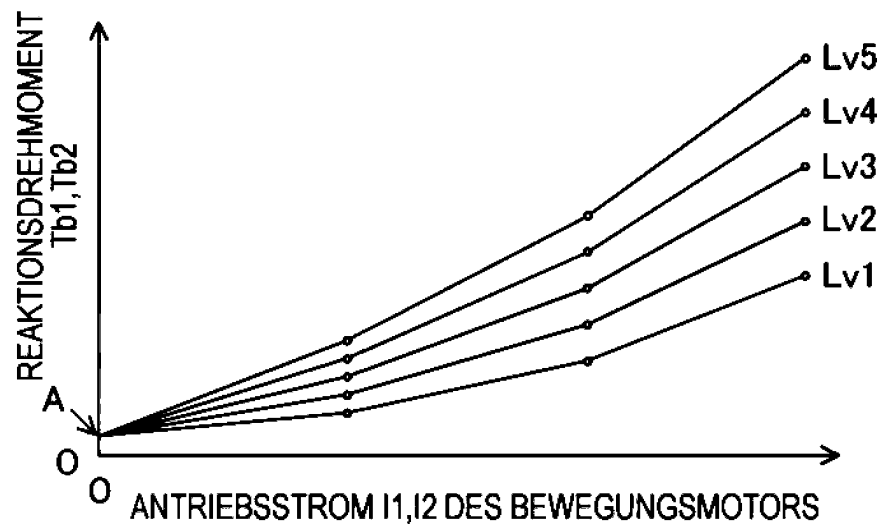


FIG. 8

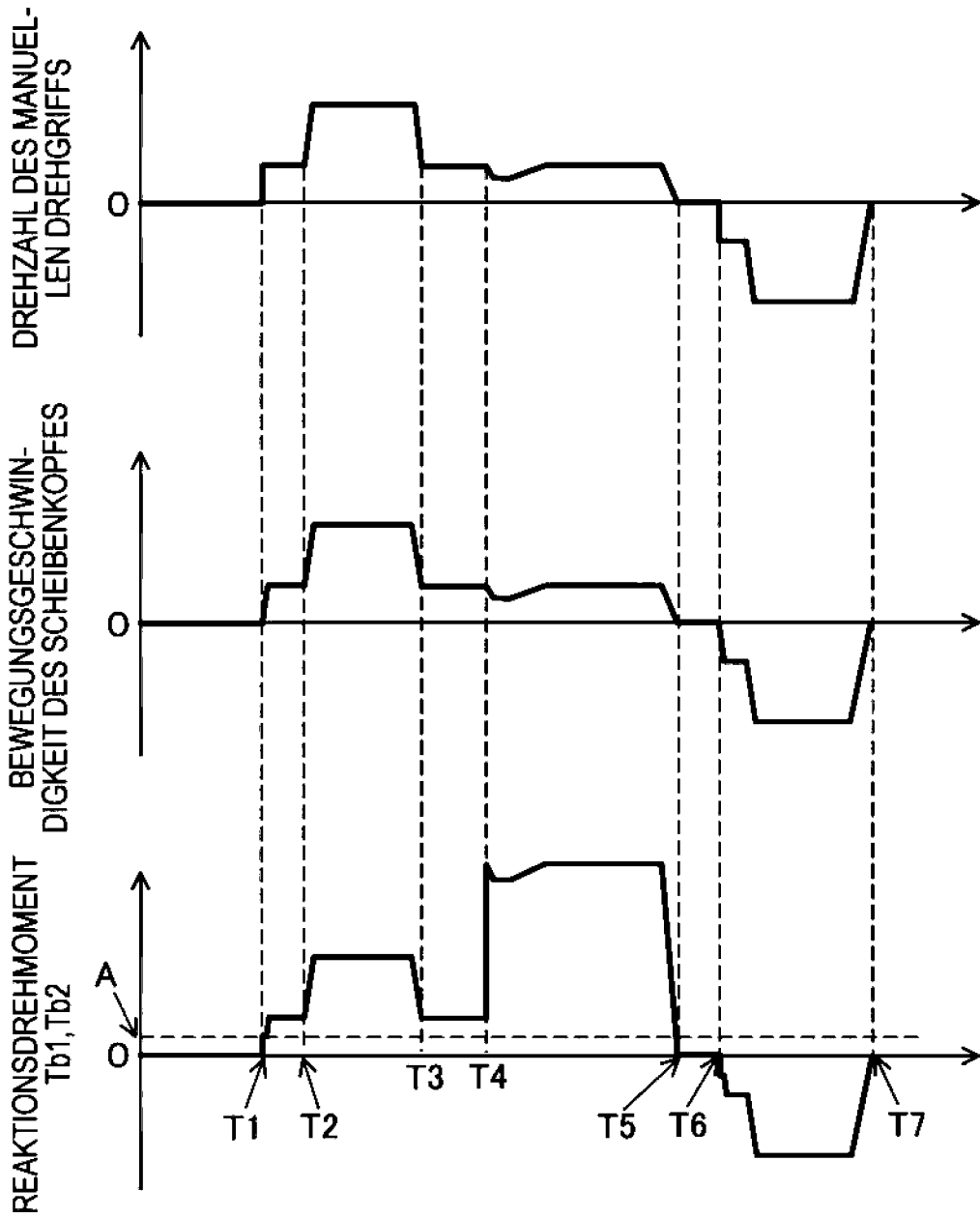


FIG. 9

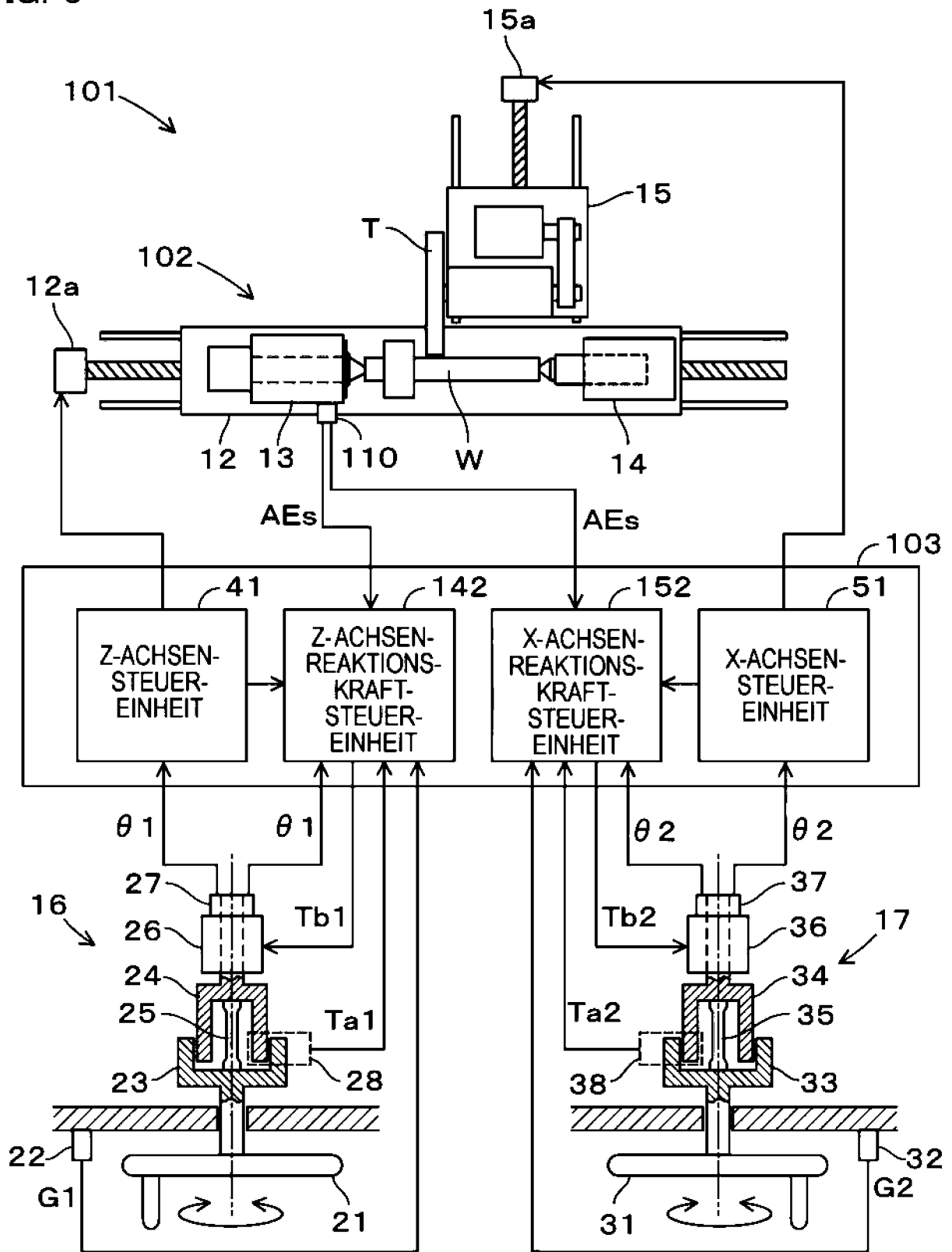


FIG. 10

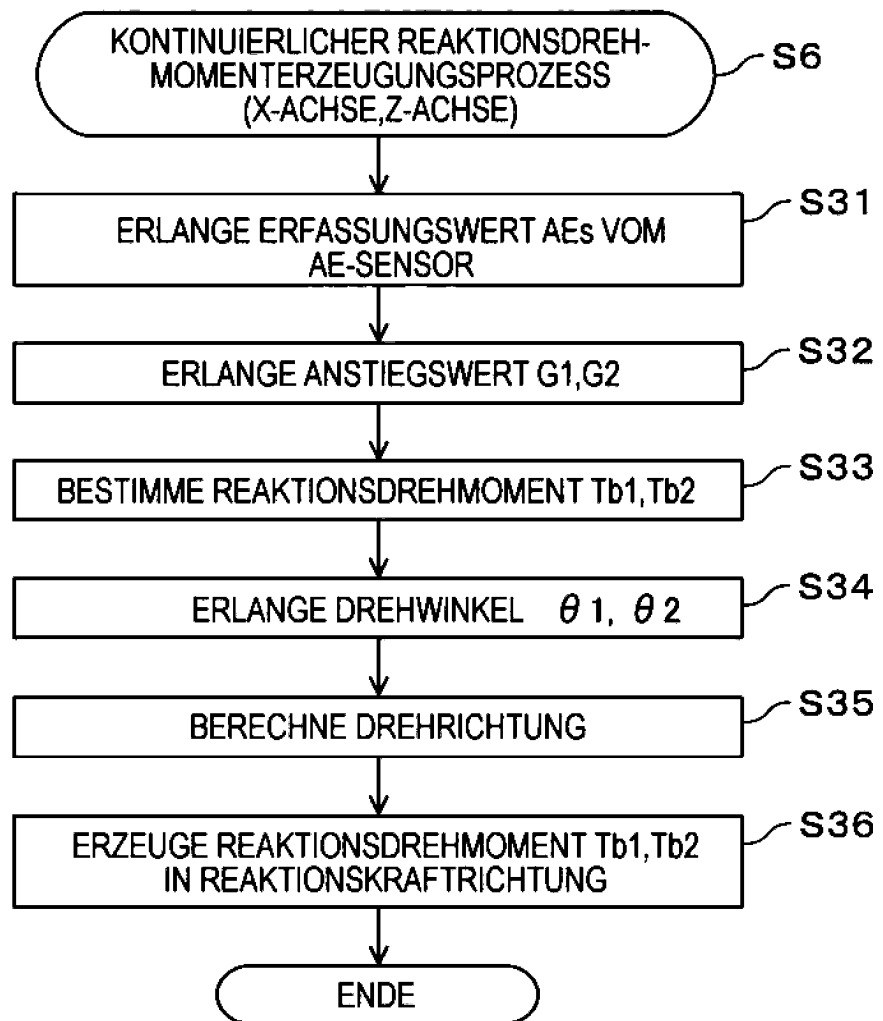


FIG. 11

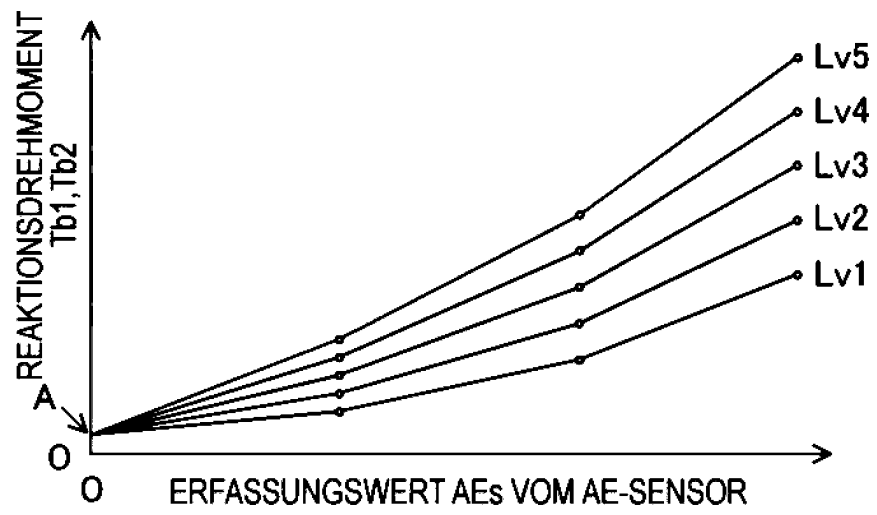


FIG. 12

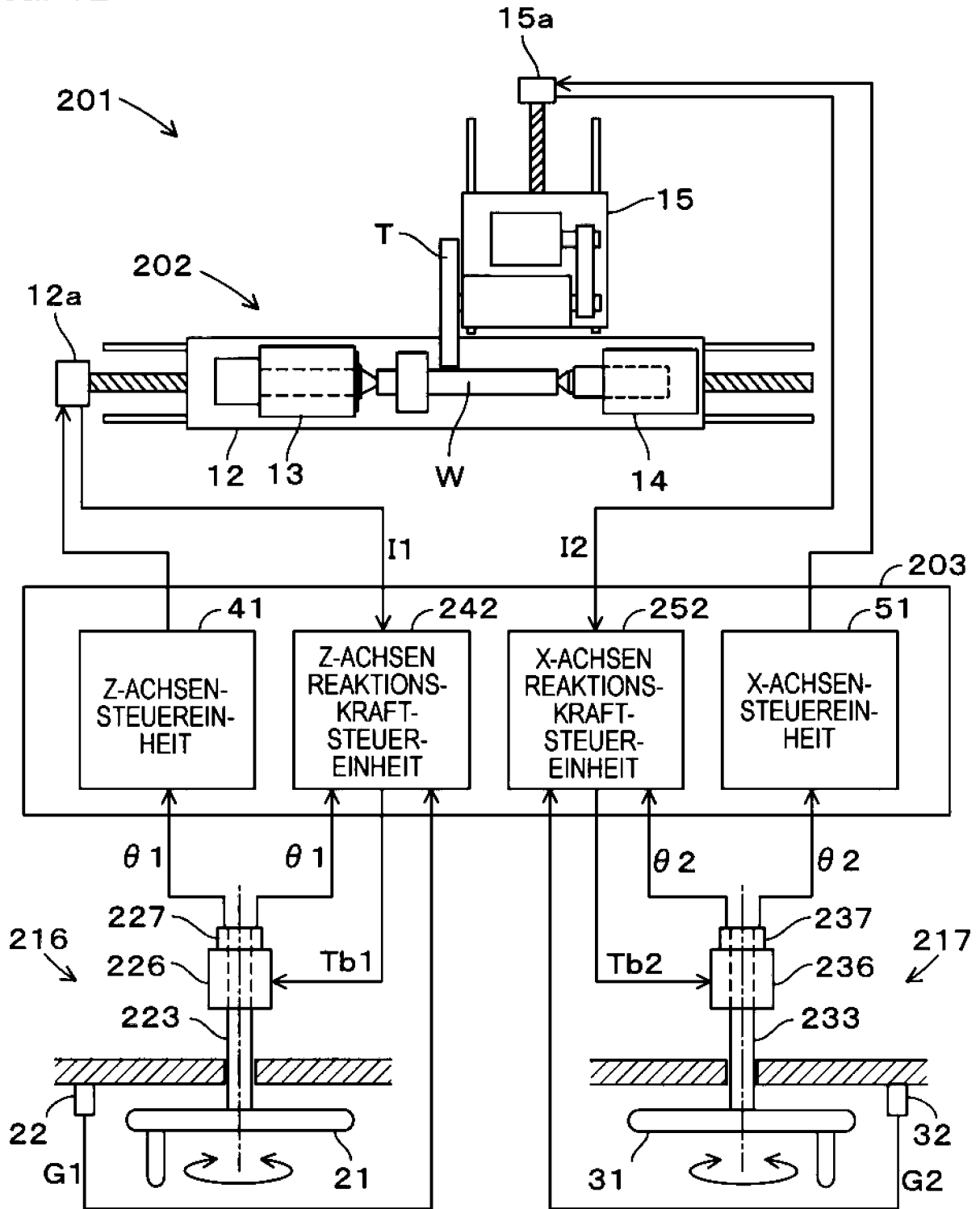


FIG. 13

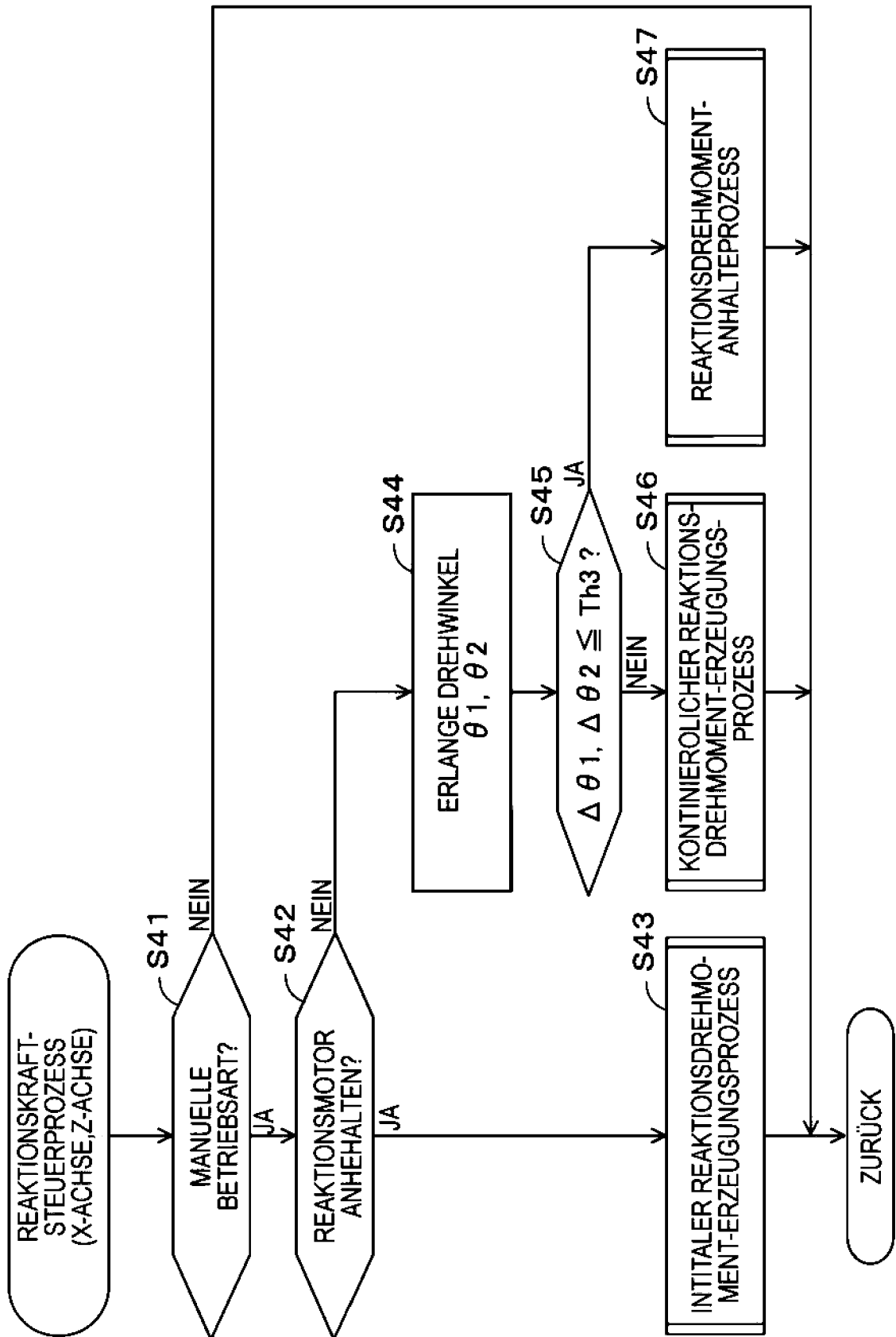


FIG. 14

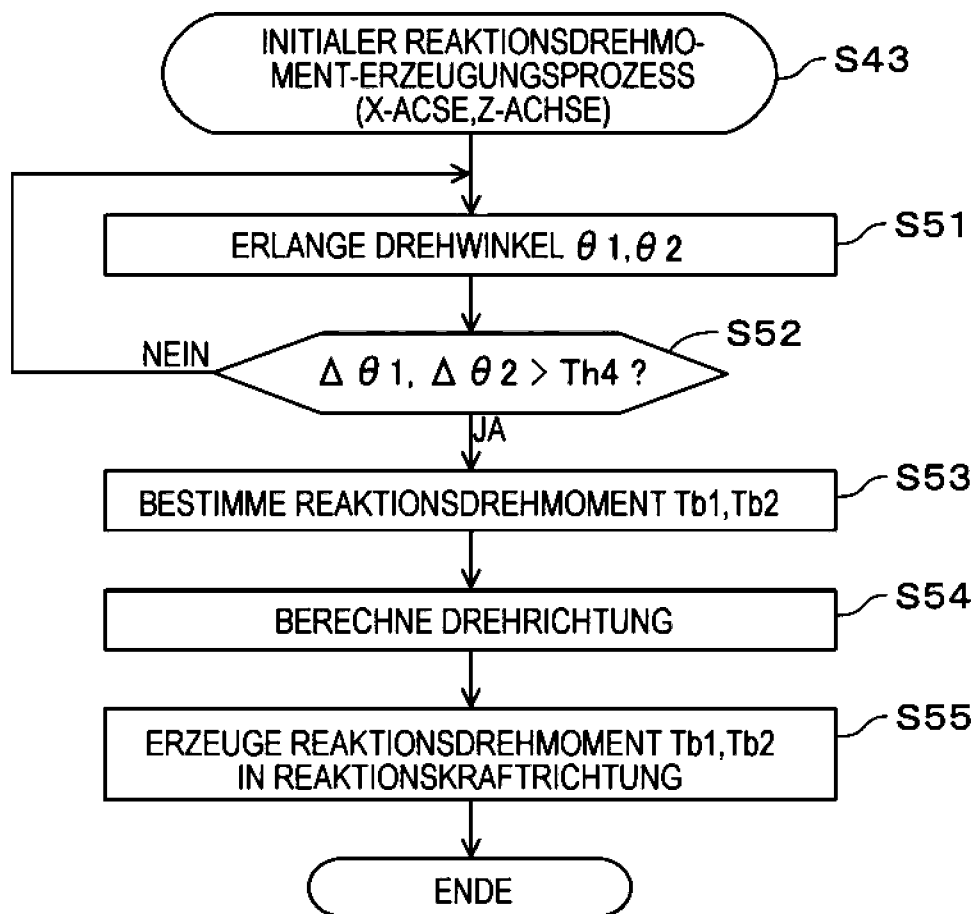


FIG. 15

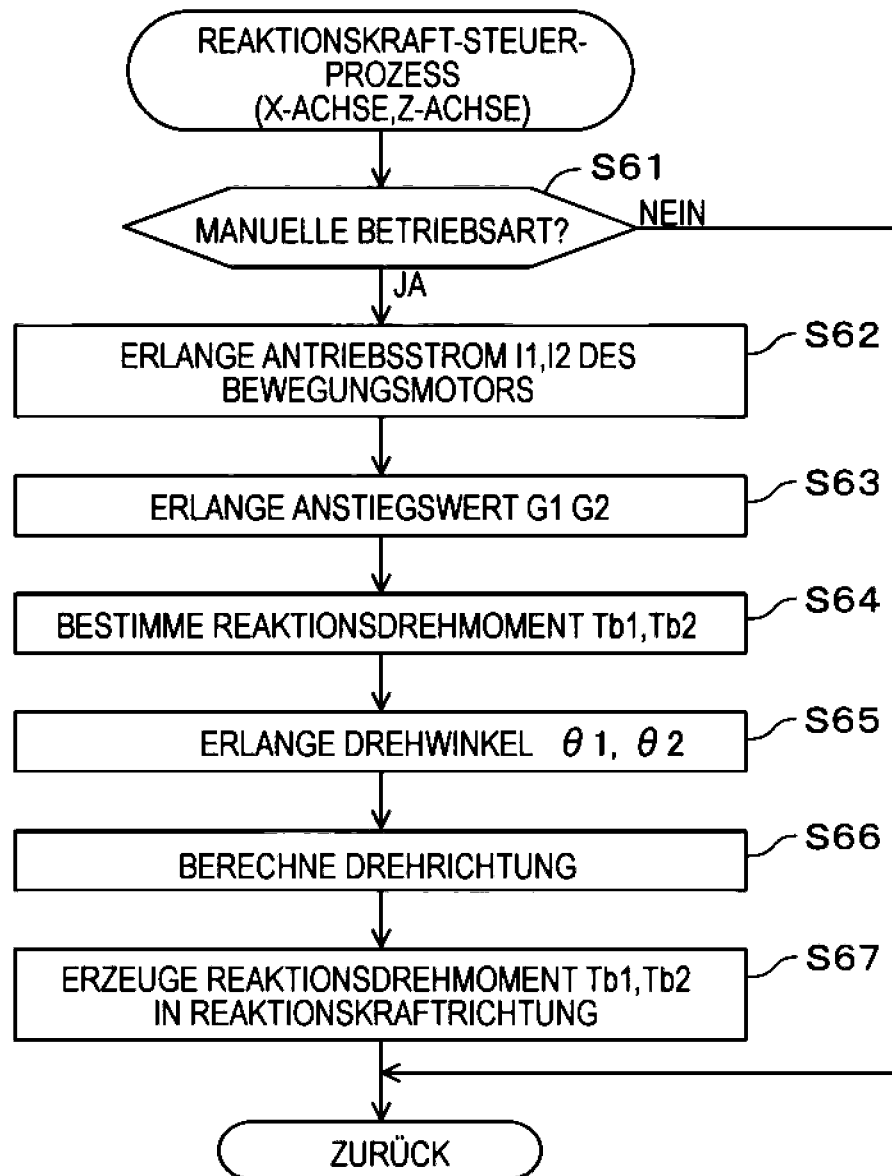


FIG. 16

