



(10) **DE 10 2019 124 819 A1** 2020.03.19

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2019 124 819.1**  
 (22) Anmeldetag: **16.09.2019**  
 (43) Offenlegungstag: **19.03.2020**

(51) Int Cl.: **B23F 15/00 (2006.01)**  
**B23F 23/08 (2006.01)**  
**B23Q 15/013 (2006.01)**  
**B23Q 16/00 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:  
**2018-173214**      **18.09.2018**    **JP**

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

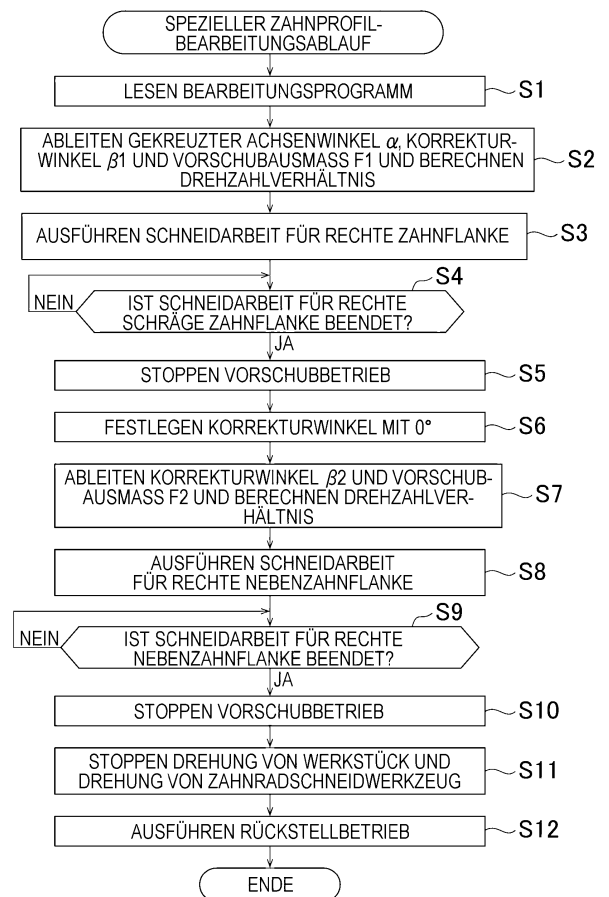
(71) Anmelder:  
**JTEKT CORPORATION, Osaka, JP**

(72) Erfinder:  
**Nakano, Hiroyuki, Osaka, JP; Otani, Hisashi, Osaka, JP; Takasu, Shuntaro, Osaka, JP**

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

(54) Bezeichnung: **Zahnradbearbeitungsgerät und Zahnradbearbeitungsverfahren**

(57) Zusammenfassung: Ein Zahnradbearbeitungsgerät 1 führt eine Schneidarbeit (Zerspanungsarbeit) für ein Werkstück W aus und erzeugt ein Zahnrad durch Ausführen eines Vorschubbetriebs eines Zahnradschneidwerkzeugs 40 relativ zu dem Werkstück W entlang einer Richtung einer Achse Lw des Werkstücks W, während sich das Zahnradschneidwerkzeug 40 und das Werkstück W in einem Zustand synchron drehen, in dem eine Achse L des Zahnradschneidwerkzeugs 40 in Bezug auf eine Linie parallel zu der Achse Lw des Werkstücks W geneigt ist. Das Zahnradbearbeitungsgerät 1 führt eine Schneidarbeit (Zerspanungsarbeit) für eine erste Zahnflanke und eine Schneidarbeit (Zerspanungsarbeit) für eine zweite Zahnflanke während eines einzelnen Vorschubbetriebs kontinuierlich aus und ändert einen Korrekturwinkel zwischen der Schneidarbeit für die erste Zahnflanke und der Schneidarbeit für die zweite Zahnflanke.



**Beschreibung**

Hintergrund der Erfindung

Gebiet der Erfindung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Zahnradbearbeitungsgerät und ein Zahnradbearbeitungsverfahren.

Beschreibung des Stands der Technik

**[0002]** Ein Synchronzahneingriffsmechanismus ist in einem Getriebe zur Verwendung in einem Fahrzeug vorgesehen, um einen gleichmäßigen Schaltbetrieb zu erreichen. Wie in **Fig. 9** dargestellt ist, weist ein Synchronzahneingriffsmechanismus **110** einer Passformbauart eine Hauptwelle **111**, Hauptantriebswellen **112**, eine Kupplungsnahe **113**, Passformen **114**, eine Hülse **115**, Hauptantriebszahnrad **116**, Kupplungszahnrad **117** und Synchronisierungsringe **118** auf. Die Hauptantriebszahnrad **116**, die Kupplungszahnrad **117** und die Synchronisierungsringe **118** sind an jeweiligen Seiten der Hülse **115** angeordnet.

**[0003]** Die Hauptwelle **111** und die Hauptantriebswellen **112** sind koaxial angeordnet. Die Kupplungsnahe **113** ist mit der Hauptwelle **111** über eine Keilverbindung verbunden. Die Hauptwelle **111** und die Kupplungsnahe **113** drehen sich gemeinsam. Die Passformen **114** sind durch Federn (nicht dargestellt) an drei Positionen an dem Außenumfang der Kupplungsnahe **113** gestützt. Innenzähne (Keilverzahnungen) **115a** sind an einem Innenumfang der Hülse **115** ausgebildet. Die Hülse **115** gleitet in einer Richtung einer Drehachse **LL** gemeinsam mit den Passformen **114** entlang Keilverzahnungen (nicht dargestellt), die an dem Außenumfang der Kupplungsnahe **113** ausgebildet sind.

**[0004]** Die Hauptantriebszahnrad **116** sind an der Hauptantriebswelle **112** montiert. Das Kupplungszahnrad **117** ist einstückig an der Seite der Hülse **115** von jedem der Hauptantriebszahnrad **116** ausgebildet. Ein schräger Konus **117b** steht von dem Kupplungszahnrad **117** vor. Der Synchronisierungsring **118** ist zwischen der Hülse **115** und dem Kupplungszahnrad **117** angeordnet. Außenzähne **117a** des Kupplungszahnrad **117** und Außenzähne **118a** des Synchronisierungsring **118** sind ausgebildet, um mit den Innenzähnen **115a** der Hülse **115** in Zahneingriff (kämmbare) zu sein. Der Innenumfang des Synchronisierungsring **118** ist konisch (schräg) ausgebildet, um mit dem Außenumfang des schrägen Konus **117b** in Reibungseingriff gebracht zu werden.

**[0005]** Nachstehend ist ein Fall beschrieben, in dem der Synchronzahneingriffsmechanismus **110** in **Fig. 9** nach links betrieben (betätigt) wird. Das Gleiche gilt

für den Fall in dem der Synchronzahneingriffsmechanismus **110** in **Fig. 9** nach rechts betrieben (betätigt) wird. Wie in **Fig. 10A** dargestellt ist, bewegen sich die Hülse **115** und die Passformen **114** in der Richtung der Drehachse **LL**, wie durch einen dargestellten Pfeil angezeigt ist, durch einen Betrieb (eine Betätigung) eines Schalthebels (nicht dargestellt). Die Passformen **114** drängen den Synchronisierungsring **118** in die Richtung der Drehachse **LL**, um den Innenumfang des Synchronisierungsring **118** gegen den Außenumfang des schrägen Konus **117b** zu drücken. Somit startet eine synchrone Drehung des Kupplungszahnrad **117**, des Synchronisierungsring **118** und der Hülse **115**.

**[0006]** Wie in **Fig. 10B** dargestellt ist, werden die Passformen **114** durch die Hülse **115** nach unten gedrängt, um den Synchronisierungsring **118** weiter in die Richtung der Drehachse **LL** zu drücken. Daher erhöht sich der Grad eines engen Kontakts zwischen dem Innenumfang des Synchronisierungsring **118** und dem Außenumfang des schrägen Konus **117b**, um eine große Reibungskraft zu erzeugen, um dadurch zu bewirken, dass sich das Kupplungszahnrad **117**, der Synchronisierungsring **118** und die Hülse **115** synchron drehen. Wenn die Anzahl der Umdrehungen (die Drehzahl des Kupplungszahnrad **117**) vollständig mit der Anzahl der Umdrehungen (der Drehzahl) der Hülse **115** synchronisiert ist, verschwindet (wird) die Reibungskraft zwischen dem Innenumfang des Synchronisierungsring **118** und dem Außenumfang des schrägen Konus **117b** (aufgehoben).

**[0007]** Wenn sich die Hülse **115** und die Passformen **114** weiter in die Richtung der Drehachse **LL** bewegen, wie durch den dargestellten Pfeil angezeigt ist, wird die Einpassung (Aufnahme) der Passformen **114** in Nuten **118b** des Synchronisierungsring **118** gestoppt, jedoch bewegt sich die Hülse **115** weiter über Vorsprünge **114a** der Passformen **114** hinaus. Daher kämmen die Innenzähne **115a** der Hülse **115** mit den Außenzähnen **118a** des Synchronisierungsring **118**.

**[0008]** Wie in **Fig. 10C** dargestellt ist, bewegt sich die Hülse **115** weiter in die Richtung der Drehachse **LL**, wie durch den dargestellten Pfeil angezeigt ist, und kämmen die Innenzähne **115a** der Hülse **115** mit den Außenzähnen **117a** des Kupplungszahnrad **117**. Somit wird ein Schalten abgeschlossen (beendet). Der Synchronzahneingriffsmechanismus **110**, wie vorstehend beschrieben ist, ist mit einem Zahnradschaltverhinderungsabschnitt **120** vorgesehen, der gestaltet ist, um ein Zahnradschalten zwischen den Außenzähnen **117a** des Kupplungszahnrad **117** und den Innenzähnen **115a** der Hülse **115** während einer Fahrt zu verhindern.

**[0009]** Insbesondere ist, wie in **Fig. 11** und **Fig. 12** dargestellt ist, der schräge Zahnradschaltverhinde-

rungsabschnitt **120** an jedem Innenzahn **115a** der Hülse **115** vorgesehen. Ein schräger Zahnradrutschverhinderungsabschnitt **117c**, der mit dem Zahnradrutschverhinderungsabschnitt **120** über eine Konusverbindung zu verbinden (aufzunehmen), ist an jedem Außenzahn **117a** des Kupplungszahnrads **117** vorgesehen, wie durch gestrichelte Linien angezeigt ist.

[0010] In Fig. 12 ist der Außenzahn **117a** des Kupplungszahnrads **117** an der Seite des Zahnradrutschverhinderungsabschnitt **120** allein dargestellt. Die Zahnradrutschverhinderungsabschnitte **120**, die in Fig. 12 dargestellt sind, sind um einen imaginären Punkt an der Mitte des oberen Stegs des Innenzahns **115a** in der Richtung der Drehachse **LL** des Hülse **115** symmetrisch ausgebildet. In der nachstehenden Beschreibung ist die Fläche des Innenzahns **115a** der Hülse **115** an der rechten Seite in Fig. 12 als eine „rechte Fläche **115b**“ bezeichnet und ist die Fläche des Innenzahns **115a** der Hülse **115** an der linken Seite als eine „linke Fläche **115A**“ bezeichnet.

[0011] Die rechte Fläche **115b** weist eine rechte Zahnflanke **115c**, eine rechte schräge Zahnflanke **122** und eine rechte Nebenzahnflanke **122a** auf. Die rechte schräge Zahnflanke **122** ist an einer Drehachse **Df** der Hülse **115** in Bezug auf die rechte Zahnflanke **115c** vorgesehen. Die rechte Nebenzahnflanke **122a** ist zwischen der rechten Zahnflanke **115c** und der rechten schrägen Zahnflanke **122** vorgesehen. Die rechte schräge Zahnflanke **122** hat einen Verzahnungswinkel (Schrägungswinkel, Steigungswinkel) der sich von dem der rechten Zahnflanke **115c** unterscheidet. Die rechte Nebenzahnflanke **122a** ist kontinuierlich zu der rechten Zahnflanke **115c** und der rechten schrägen Zahnflanke **122** ausgebildet. Der Verzahnungswinkel (Schrägungswinkel, Steigungswinkel) der rechten Nebenzahnflanke **122a** unterscheidet sich von jenen der rechten Zahnflanke **115c** und der rechten schrägen Zahnflanke **122**.

[0012] Die linke Fläche **115A** weist eine linke Zahnflanke **115b**, eine linke schräge Zahnflanke **121** und eine linke Nebenzahnflanke **121a** auf. Die linke schräge Zahnflanke **121** ist an der einen Drehachse **Df** der Hülse **115** in Bezug auf die linke Zahnflanke **115b** vorgesehen. Die linke Nebenzahnflanke **121a** ist zwischen der linken Zahnflanke **115b** und der linken schrägen Zahnflanke **121** vorgesehen. Die linke schräge Zahnflanke **121** hat einen Verzahnungswinkel (Schrägungswinkel, Steigungswinkel), der sich von dem der linken Zahnflanke **115b** unterscheidet. Die linke Nebenzahnflanke **121a** ist kontinuierlich mit der linken Zahnflanke **115b** und der linken schrägen Zahnflanke **121** ausgebildet. Der Verzahnungswinkel (Schrägungswinkel, Steigungswinkel) der linken Nebenzahnflanke **121a** unterscheidet sich von jenen der linken Zahnflanke **115b** und der linken schrägen Zahnflanke **121**.

det sich von jenen der linken Zahnflanke **115b** und der linken schrägen Zahnflanke **121**.

[0013] Die rechte schräge Zahnflanke **122**, die rechte Nebenzahnflanke **122a**, die linke schräge Zahnflanke **121** und die linke Nebenzahnflanke **121a** bilden den Zahnradrutschverhinderungsabschnitt **120**. Das Zahnruutschen wird durch einen Konuseingriff (eine Konusverbindung) der schrägen Zahnflanke **121** an dem Zahnradrutschverhinderungsabschnitt **117c** verhindert.

[0014] Wie vorstehend beschrieben ist, ist die Struktur des Innenzahns **115a** der Hülse **115** kompliziert. Die Hülse **115** ist eine Komponente, die durch Massenproduktion hergestellt werden muss. Daher werden die Innenzähne **115a** der Hülse **115** im Allgemeinen durch Räumen oder Zahnradformen ausgebildet und werden die Zahnradrutschverhinderungsabschnitte **120** im Allgemeinen durch Formwalzen ausgebildet (siehe ungeprüfte japanische Gebrauchsmusteranmeldungsveröffentlichung Nr. 6-61340 (JP 6-61340 U) und ungeprüfte japanische Patentanmeldungsoffenlegungsschrift 2005-152940 (JP 2005-152940 A)). Jedoch ist das Formwalzen eine plastische Arbeit und kann die Bearbeitungsgenauigkeit verringern. Um die Bearbeitungsgenauigkeit zu erhöhen, ist eine Schneidarbeit (Zerspanungsarbeit) wünschenswert. Die ungeprüfte japanische Patentanmeldungsoffenlegungsschrift 2018-79558 (JP 2018-79558 A) offenbart eine Technologie zum Ausbilden des Zahnradrutschverhinderungsabschnitts **120** durch eine Schneidarbeit (Zerspanungsarbeit).

[0015] In der Technologie, die in JP 2018-79558 A beschrieben ist, wird die rechte Nebenzahnflanke **122a** (linke Nebenzahnflanke **121a**) üblicherweise ausgebildet, wenn ein Werkzeug von einer rechten Fläche **115b** (linken Fläche **115A**) getrennt wird, nachdem eine Schneidarbeit für die rechte schräge Zahnflanke **122** (linke schräge Zahnflanke **121**) ausgeführt wird. Als Ergebnis sind die Verzahnungswinkel (Schrägungswinkel, Steigungswinkel) der rechten Nebenzahnflanke **122a** und der linken Nebenzahnflanke **121a** in dem Fall größer, in dem der Zahnradrutschverhinderungsabschnitt **120** durch eine Schneidarbeit ausgebildet wird, als in dem Fall, in dem der Zahnradrutschverhinderungsabschnitt **120** durch ein Formwalzen ausgebildet wird. Gemäß dem Stand der Technik wird auf eine Abmessungshandhabung der Verzahnungswinkel der rechten Nebenzahnflanke **122a** und der linken Nebenzahnflanke **121a** verglichen zu jenen der rechten schrägen Zahnflanke **122** und der linken schrägen Zahnflanke **121** nicht entsprechend wertgelegt.

[0016] Es wurde herausgefunden, dass, wenn der Verzahnungswinkel der rechten Nebenzahnflanke **122a** (linken Nebenzahnflanke **121a**) außerordent-

lich (übermäßig) groß ist, der Synchroneingriffsmechanismus aufgrund eines Fehlverhaltens bei einem gleichmäßigen Betrieb fehlerhaft sein kann. Daher besteht für eine Abnutzungshandhabung für die rechte Nebenzahnflanke **122a** (linke Nebenzahnflanke **121a**) ein Bedarf, wenn der Zahnradrutschverhinderungsabschnitt **120** durch eine Schneidarbeit ausgebildet wird (ausgebildet werden soll).

#### Zusammenfassung der Erfindung

**[0017]** Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Zahnradbearbeitungsgerät und ein Zahnradbearbeitungsverfahren bereitzustellen, mit denen eine Vielzahl von Zahnflanken mit unterschiedlichen Verzahnungswinkeln (Schrägungswinkeln, Steigungswinkeln) mit hoher Genauigkeit an den Flächen der Zähne eines Zahnrad ausgebildet werden können, wenn die Zahnflanken durch eine Schneidarbeit (Zerspanungsarbeit) ausgebildet werden.

**[0018]** Ein Zahnradbearbeitungsgerät gemäß einem Gesichtspunkt der vorliegenden Erfindung ist ein Zahnradbearbeitungsgerät, das gestaltet ist, um eine Schneidarbeit (Zerspanungsarbeit) für ein Werkstück auszuführen und ein Zahnrad durch Ausführen eines Vorschubbetriebs eines Zahnrad-schneidwerkzeugs relativ zu dem Werkstück entlang einer Richtung einer Achse des Werkstücks zu erzeugen, während sich das Zahnrad-schneidwerkzeug und das Werkstück in einem Zustand synchron drehen, in dem eine Achse des Zahnrad-schneidwerkzeugs in Bezug auf eine Linie parallel zu der Achse des Werkstücks geneigt ist. Das Zahnrad hat eine Vielzahl von Zähnen hat, die jeweils eine Fläche haben, die eine erste Zahnflanke und eine zweite Zahnflanke aufweist, die kontinuierlich zu der ersten Zahnflanke ausgebildet ist und einen Verzahnungswinkel (Schrägungswinkel, Steigungswinkel) hat, der sich von einem Verzahnungswinkel (Schrägungswinkel, Steigungswinkel) der ersten Zahnflanke unterscheidet. Das Zahnradbearbeitungsgerät weist eine Bearbeitungssteuerungseinheit auf, die gestaltet ist, um eine Drehung des Werkstücks und eine Drehung des Zahnrad-schneidwerkzeugs zu steuern und um den Vorschubbetrieb des Zahnrad-schneidwerkzeugs relativ zu dem Werkstück zu steuern.

**[0019]** Eine Position, in der das Zahnrad-schneidwerkzeug die Fläche schneidet, ist als ein Schneidpunkt definiert, wobei der Schneidpunkt, wenn die Schneidarbeit gestartet wird, als ein Startpunkt definiert ist, und der Schneidpunkt, wenn das Zahnrad-schneidwerkzeug um ein vorbestimmtes Vorschubausmaß von dem Startpunkt verschoben wird, als ein Bewegungspunkt definiert ist. Der Schneidpunkt, wenn das Zahnrad-schneidwerkzeug um das vorbestimmte Vorschubausmaß von dem Startpunkt verschoben wird, während sich das Werkstück und

das Zahnrad-schneidwerkzeug in einem vorbestimmten Referenzsynchrondrehzustand drehen, ist als ein Referenzbewegungspunkt definiert. Ein Phasenverschiebungswinkel zu einer Seite in einer Umfangsrichtung des Werkstücks, der festgelegt ist, um eine Phase des Bewegungspunkts von einer Phase des Referenzbewegungspunkts zu verschieben, wenn das Zahnrad-schneidwerkzeug um das vorbestimmte Vorschubausmaß von dem Startpunkt verschoben wird, ist als ein Korrekturwinkel definiert. Die Bearbeitungssteuerungseinheit ist gestaltet, um die Schneidarbeit für die erste Zahnflanke und die Schneidarbeit für die zweite Zahnflanke während des Vorschubbetriebs, der bei einem einzelnen Anlass ausgeführt wird, kontinuierlich auszuführen und um den Korrekturwinkel zwischen der Schneidarbeit für die erste Zahnflanke und der Schneidarbeit für die zweite Zahnflanke zu ändern.

**[0020]** Ein Zahnradbearbeitungsverfahren gemäß einem weiteren Gesichtspunkt der vorliegenden Erfindung ist ein Zahnradbearbeitungsverfahren zum Ausführen einer Schneidarbeit (Zerspanungsarbeit) für ein Werkstück und zum Erzeugen eines Zahnrad durch Ausführen eines Vorschubbetriebs eines Zahnrad-schneidwerkzeugs relativ zu dem Werkstück entlang einer Richtung einer Achse des Werkstücks, während sich das Zahnrad-schneidwerkzeug und das Werkstück in einem Zustand synchron drehen, in dem eine Achse des Zahnrad-schneidwerkzeugs in Bezug auf eine Linie parallel zu der Achse des Werkstücks geneigt ist. Das Zahnrad weist eine Vielzahl von Zähnen hat, die jeweils eine Fläche haben, die eine erste Zahnflanke und eine zweite Zahnflanke aufweist, die kontinuierlich zu der ersten Zahnflanke ausgebildet ist und einen Verzahnungswinkel (Schrägungswinkel, Steigungswinkel) hat, der sich von einem Verzahnungswinkel (Schrägungswinkel, Steigungswinkel) der ersten Zahnflanke unterscheidet.

**[0021]** Eine Position, in der das Zahnrad-schneidwerkzeug die Fläche schneidet, ist als ein Schneidpunkt definiert, wobei der Schneidpunkt, wenn die Schneidarbeit gestartet wird, als ein Startpunkt definiert ist, und der Schneidpunkt, wenn das Zahnrad-schneidwerkzeug um ein vorbestimmtes Vorschubausmaß von dem Startpunkt verschoben wird, als ein Bewegungspunkt definiert ist. Der Schneidpunkt, wenn das Zahnrad-schneidwerkzeug um das vorbestimmte Vorschubausmaß von dem Startpunkt verschoben wird, während sich das Werkstück und das Zahnrad-schneidwerkzeug in einem vorbestimmten Referenzsynchrondrehzustand drehen, ist als ein Referenzbewegungspunkt definiert. Ein Phasenverschiebungswinkel zu einer Seite in einer Umfangsrichtung des Werkstücks, der festgelegt ist, um eine Phase des Bewegungspunkts von einer Phase des Referenzbewegungspunkts zu verschieben, wenn das Zahnrad-schneidwerkzeug um das vorbe-

stimmte Vorschubausmaß von dem Startpunkt verschoben wird, ist als ein Korrekturwinkel definiert. Das Zahnradbearbeitungsverfahren weist ein kontinuierliches Ausführen der Schneidarbeit für die erste Zahnflanke und der Schneidarbeit für die zweite Zahnflanke während des Vorschubbetriebs, der bei einem einzelnen Anlass ausgeführt wird, und ein Ändern des Korrekturwinkels zwischen der Schneidarbeit für die erste Zahnflanke und der Schneidarbeit für die zweite Zahnflanke auf.

**[0022]** Gemäß dem Zahnradbearbeitungsgerät und dem Zahnradbearbeitungsverfahren der vorstehend beschriebenen Gesichtspunkte führt die Bearbeitungssteuerungseinheit die Schneidarbeit (Zerspanungsarbeit) für die erste Zahnflanke und die Schneidarbeit (Zerspanungsarbeit) für die zweite Zahnflanke während des Vorschubbetriebs, der bei einem einzelnen Anlass (einem einzelnen Vorgang) ausgeführt wird, kontinuierlich aus. Die Bearbeitungssteuerungseinheit ändert den Korrekturwinkel zwischen der Schneidarbeit für die erste Zahnflanke und der Schneidarbeit für die zweite Zahnflanke. Somit kann das Zahnradbearbeitungsgerät eine Abmessungshandhabung von sowohl der ersten Zahnflanke als auch der zweiten Zahnflanke ausführen. Demgemäß können die erste Zahnflanke und die zweite Zahnflanke mit hoher Genauigkeit ausgebildet werden.

#### Figurenliste

**[0023]** Die vorstehenden und weiteren Merkmale und Vorteile der Erfindung sind aus der nachstehenden Beschreibung von beispielhaften Ausführungsbeispielen in Bezug auf die beigefügten Zeichnungen ersichtlich, in denen gleiche Bezugszeichen verwendet werden, um gleiche Elemente darzustellen (wiederzugeben), und in denen Folgendes gezeigt ist:

**Fig. 1** ist eine Perspektivansicht eines Zahnradbearbeitungsgeräts gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

**Fig. 2** ist eine lokale Schnittansicht der Gesamtstruktur eines Zahnradschneidwerkzeugs, das in einer radialen Richtung angesehen wird;

**Fig. 3** ist ein Blockschaubild einer Bearbeitungssteuerungseinheit;

**Fig. 4A** ist eine Ansicht, die eine Keilverzahnung darstellt, die von schräg oben angesehen wird;

**Fig. 4B** ist eine Ansicht, die ein Werkstück in einer axialen Richtung teilweise darstellt;

**Fig. 5** ist ein Diagramm, das ein Verhältnis zwischen einem Werkstückdrehzahlfestlegungswert und einem Vorschubgeschwindigkeitsfestlegungswert darstellt, wenn eine Schneidarbeit für eine rechte schräge Zahnflanke und eine rechte Nebenzahnflanke ausgeführt wird;

**Fig. 6** ist eine Ansicht, die einen Zustand der Keilverzahnungszähne schematisch darstellt, die in der radialen Richtung angesehen werden;

**Fig. 7A** ist eine Ansicht, die eine Relativposition des Zahnradschneidwerkzeugs zu dem Werkstück schematisch darstellt und ferner einen Zustand darstellt, bevor eine Schneidarbeit für die rechte schräge Zahnflanke gestartet wird;

**Fig. 7B** ist eine Ansicht, die eine Relativposition des Zahnradschneidwerkzeugs zu dem Werkstück schematisch darstellt und ferner einen Zustand darstellt, in dem die Schneidarbeit für die rechte schräge Zahnflanke abgeschlossen (beendet) ist;

**Fig. 7C** ist eine Ansicht, die eine Relativposition des Zahnradschneidwerkzeugs zu dem Werkstück schematisch darstellt und ferner einen Zustand darstellt, in dem eine Schneidarbeit für die rechte Nebenzahnflanke abgeschlossen (beendet) ist;

**Fig. 8** ist ein Ablaufschaubild, das einen speziellen Zahnprofilbearbeitungsablauf darstellt, der durch die Bearbeitungssteuerungseinheit auszuführen ist;

**Fig. 9** ist eine Schnittansicht, die einen Synchronzahneingriffsmechanismus darstellt, der eine Hülse aufweist;

**Fig. 10A** ist eine Schnittansicht, die einen Zustand darstellt, bevor ein Betrieb des Synchronzahneingriffsmechanismus, der in **Fig. 9** dargestellt ist, startet;

**Fig. 10B** ist eine Schnittansicht, die einen Zustand darstellt, in dem der Synchronzahneingriffsmechanismus, der in **Fig. 9** dargestellt ist, betrieben wird;

**Fig. 10C** ist eine Schnittansicht, die einen Zustand darstellt, nachdem der Synchronzahneingriffsmechanismus, der in **Fig. 9** dargestellt ist, seinen Betrieb beendet (abgeschlossen) hat;

**Fig. 11** ist eine Perspektivansicht, die Zahnradrutschverhinderungsabschnitte der Hülse darstellt; und

**Fig. 12** ist eine Ansicht, die einen Zustand der Zahnradrutschverhinderungsabschnitte der Hülse, die in **Fig. 11** dargestellt sind, in der radialen Richtung schematisch darstellt.

#### Ausführliche Beschreibung der Ausführungsbeispiele

**[0024]** Ein Zahnradbearbeitungsgerät und ein Zahnradbearbeitungsverfahren gemäß Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung sind nachstehend in Bezug auf die Zeichnungen beschrieben. Zunächst

ist die Gesamtstruktur eines Zahnradbearbeitungsgeräts **1** gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung in Bezug auf **Fig. 1** beschrieben.

**[0025]** Wie in **Fig. 1** dargestellt ist, ist das Zahnradbearbeitungsgerät **1** ein Bearbeitungszentrum mit drei orthogonalen linearen Achsen (X-Achse, Y-Achse und Z-Achse) und zwei Drehachsen (A-Achse und C-Achse) als Antriebsachsen. Das Zahnradbearbeitungsgerät **1** weist vor allem ein Bett **10**, eine Werkzeughalterungsvorrichtung **20**, eine Werkstückhalterungsvorrichtung **30** und eine Bearbeitungssteuerungseinheit **100** auf.

**[0026]** Das Bett **10** ist auf einem Boden angeordnet. Ein Paar X-Achsenführungsschienen **11**, die sich in einer X-Achsenrichtung erstrecken, und ein Paar Z-Achsenführungsschienen **12**, die sich in einer Z-Achsenrichtung erstrecken, sind an einer oberen Fläche des Betts **10** vorgesehen. Die Werkzeughalterungsvorrichtung **20** weist eine Säule **21**, eine X-Achsenantriebsvorrichtung **22** (siehe **Fig. 3**), einen Schlitten **23**, eine Y-Achsenantriebsvorrichtung **24** (siehe **Fig. 3**), eine Werkzeugspindel **25** und einen Werkzeugspindelmotor **26** (siehe **Fig. 3**) auf. In **Fig. 1** sind die Darstellungen der X-Achsenantriebsvorrichtung **22**, der Y-Achsenantriebsvorrichtung **24** und des Werkzeugspindelmotors **26** weggelassen.

**[0027]** Die Säule **21** ist vorgesehen, um in der X-Achsenrichtung beweglich zu sein, während sie durch die X-Achsenführungsschienen **11** geführt wird. Die X-Achsenantriebsvorrichtung **22** ist eine Vorschubspindelvorrichtung, die gestaltet ist, um die Säule **21** in der X-Achsenrichtung relativ zu dem Bett **10** zu verschieben. Ein Paar X-Achsenführungsschienen **26**, die sich entlang einer Y-Achsenrichtung erstrecken, ist an einer der Fläche der Säule **21** vorgesehen. Der Schlitten **23** ist vorgesehen, in der Y-Achsenrichtung relativ zu der Säule **21** beweglich zu sein, während er durch die Y-Achsenführungsschienen **21** geführt wird. Die Y-Achsenantriebsvorrichtung **24** ist eine Vorschubspindelvorrichtung, die gestaltet ist, um mit dem Schlitten **23** in der Y-Achsenrichtung zu verschieben.

**[0028]** Die Werkzeugspindel **25** ist gestützt, um eine Achse parallel zu der Z-Achsenrichtung relativ zu dem Schlitten **23** drehbar zu sein. Ein Zahnradschneidwerkzeug **40** ist abnehmbar an dem vorderen Ende der Werkzeugspindel **25** angebracht und wird zur Bearbeitung eines Werkstücks **W** verwendet. Das Zahnradschneidwerkzeug **40** bewegt sich in der X-Achsenrichtung gemeinsam mit einer Bewegung der Säule **21** und bewegt sich in der Y-Achsenrichtung gemeinsam mit einer Bewegung des Schlittens **23**. Der Werkzeugspindelmotor **26** bringt eine Antriebskraft zum Drehen der Werkzeugspindel **25** auf und ist in dem Schlitten **23** aufgenommen.

**[0029]** Die Werkstückhalterungsvorrichtung **30** weist eine Gleitvorrichtung **31**, eine Z-Achsenantriebsvorrichtung **32** (siehe **Fig. 3**), eine Neigungsvorrichtung **33** und eine Werkstückdrehvorrichtung **34** auf. In **Fig. 1** ist die Darstellung der Z-Achsenantriebsvorrichtung **32** weggelassen. Die Gleitvorrichtung **31** ist vorgesehen, um in der Z-Achsenrichtung relativ zu dem Bett **10** beweglich zu sein, während sie durch die Z-Achsenführungsschienen **12** geführt wird. Die Z-Achsenantriebsvorrichtung **32** ist eine Vorschubspindelvorrichtung, die gestaltet ist, um die Gleitvorrichtung **21** in der Z-Achsenrichtung zu verschieben.

**[0030]** Die Neigungsvorrichtung **33** weist ein Paar Tischstützabschnitte **35**, einen Neigungstisch **36** und einen A-Achsenmotor **37** (siehe **Fig. 3**) auf. Die Tischstützabschnitte **35** sind an der oberen Fläche der Gleitvorrichtung **31** angeordnet. Der Neigungstisch **36** ist gestützt, um um die A-Achse parallel zu der Y-Achse relativ zu den Tischstützabschnitten **35** schwenkbar zu sein. Der A-Achsenmotor **37** bringt eine Antriebskraft zum Schwenken des Neigungstischs **36** um die A-Achse auf und ist in dem Tischstützabschnitt **35** aufgenommen.

**[0031]** Die Werkstückdrehvorrichtung **34** weist einen Drehtisch **38** und einen C-Achsenmotor **39** (siehe **Fig. 3**) auf. Der Drehtisch **38** ist angeordnet, um die C-Achse orthogonal zu der A-Achse relativ zu der Bodenfläche des Neigungstischs **36** drehbar zu sein. Der Drehtisch **38** ist mit einem Halterungsabschnitt **38a** vorgesehen, der gestaltet ist, um das Werkstück **W** zu fixieren. Der C-Achsenmotor **39** bringt eine Antriebskraft zum Drehen des Drehtischs **38** auf und ist an der unteren Fläche des Neigungstischs **36** vorgesehen.

**[0032]** Wenn ein Zahnrad bearbeitet wird, schwenkt das Zahnradbearbeitungsgerät **1** den Neigungstisch **36**, um eine Achse **L** des Zahnradschneidwerkzeugs **40** in Bezug auf eine Linie parallel zu einer Achse **Lw** des Werkstücks **W** zu neigen. In diesem Zustand verschiebt das Zahnradbearbeitungsgerät **1** das Zahnradschneidwerkzeug **40** in einer Richtung der Achse **Lw** des Werkstücks **W** relativ, während sich das Zahnradschneidwerkzeug **40** und das Werkstück **W** synchron drehen. Somit erzeugt das Zahnradbearbeitungsgerät **1** ein Zahnrad durch eine Schneidarbeit (Zerspanungsarbeit) für das Werkstück **W**.

**[0033]** Nachstehend ist die schematische Gesamtstruktur des Zahnradschneidwerkzeugs **40** in Bezug auf **Fig. 2** beschrieben. Wie in **Fig. 2** dargestellt ist, weist das Zahnradschneidwerkzeug **40** eine Vielzahl von Werkzeugrändern (-schneiden) **41** mit Verzahnungswinkeln (Schrägungswinkel, Steigungswinkel) auf. Jede der Werkzeugschneiden **41** ist in eine Form einer Evolventenkurve aus Sicht in einer Richtung der Achse **L** des Zahnradschneidwerkzeugs **40** ausgebildet. Jede Werkzeugschneide **41** hat eine Spanflä-

che **23** an einer Endfläche **42**, die zu dem vorderen Ende des Schneidwerkzeugs **40** (der unteren Seite in **Fig. 2**) ausgerichtet ist. Die Spanfläche **43** hat einen Spanwinkel, mit dem die Spanfläche **43** in einem Winkel  $\gamma$  in Bezug auf eine Ebene orthogonal zu der Richtung der Achse **L** des Zahnradschneidwerkzeugs **40** geneigt ist. Jede Werkzeugschneide **41** hat einen Freiwinkel, mit dem die Werkzeugschneide **41** in einem Winkel  $\delta$  in Bezug auf eine gerade Linie parallel zu der Achse **L** des Zahnradschneidwerkzeugs **40** geneigt ist.

**[0034]** Nachstehend ist die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** in Bezug auf **Fig. 3** beschrieben. Die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** steuert eine Drehung des Werkstücks **W** und eine Drehung des Zahnradschneidwerkzeugs **40** und führt einen Betrieb zum Verschieben des Zahnradschneidwerkzeugs **40** relativ zu dem Werkstück **W** auf. Wie in **Fig. 3** dargestellt ist, weist die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** eine Werkzeugdrehungssteuerungseinheit **101**, eine Werkstückdrehungssteuerungseinheit **102**, eine Neigungssteuerungseinheit **103**, eine Positionsteuerungseinheit **104**, eine Bearbeitungsprogramm Speichereinheit **105** und eine Berechnungseinheit **106** auf.

**[0035]** Die Werkzeugdrehungssteuerungseinheit **101** steuert einen Antrieb des Werkzeugspindel motors **26**, um das Zahnradschneidwerkzeug **40**, das an der Werkzeugspindel **25** angebracht ist, zu drehen. Die Werkstückdrehungssteuerungseinheit **102** steuert einen Antrieb des C-Achsenmotors **39**, um das Werkstück **W**, das an dem Drehtisch **38** fixiert ist, um die Achse **L<sub>w</sub>** (um die C-Achse) zu drehen. Die Neigungssteuerungseinheit **103** steuert einen Antrieb des A-Achsenmotors **37**, um den Neigungstisch **36** zu schwenken. Somit schwenkt das Werkstück **W**, das an dem Drehtisch **38** fixiert ist, um die A-Achse und wird die Achse **L** des Zahnradschneidwerkzeugs **40** in Bezug auf die Linie parallel zu der Achse **L<sub>w</sub>** des Werkstücks **W** geneigt.

**[0036]** Die Positionssteuerungseinheit **104** steuert einen Antrieb der X-Achsenantriebsvorrichtung **22**, um die Säule **21** in der X-Achsenrichtung zu bewegen, und steuert einen Antrieb der Y-Achsenantriebsvorrichtung **24**, um den Schlitten **23** in der Y-Achsenrichtung zu bewegen. Somit bewegt sich das Zahnradschneidwerkzeug **40**, das durch die Werkzeughalterungsvorrichtung **20** gehalten wird, in der X-Achsenrichtung und der Y-Achsenrichtung relativ zu dem Werkstück **W**, das durch die Werkstückhalterungsvorrichtung **30** gehalten wird. Die Positionssteuerungseinheit **104** steuert einen Antrieb der Z-Achsenantriebsvorrichtung **32**, um die Gleitvorrichtung **31** in der Z-Achsenrichtung zu bewegen. Somit bewegt sich das Werkstück **W**, das durch die Werkstückhalterungsvorrichtung **30** gehalten wird, in der Z-Achsenrichtung relativ zu dem Zahnradschneid-

werkzeug **40**, das durch die Werkzeughalterungsvorrichtung **20** gehalten wird. Demgemäß wird das Zahnradschneidwerkzeug **40** relativ zu dem Werkstück **W** verschoben.

**[0037]** Die Bearbeitungsprogramm Speichereinheit **105** speichert ein Bearbeitungsprogramm, das für eine Schneidarbeit (Zerspanungsarbeit) verwendet wird. Die Berechnungseinheit **106** identifiziert einen Bearbeitungsweg, entlang dem das Zahnradschneidwerkzeug **40** das Werkstück **W** auf der Grundlage des Bearbeitungsprogramms schneidet (zerspannt), das in der Bearbeitungsprogramm Speichereinheit **105** gespeichert ist.

**[0038]** Auf der Grundlage des identifizierten Bearbeitungswegs leitet die Berechnungseinheit **106** einen gekreuzten Achsenwinkel  $\alpha$ , einen Korrekturwinkel  $\beta$  und ein Vorschubausmaß **F** des Zahnradschneidwerkzeugs **40** relativ zu dem Werkstück **W** ab. Der gekreuzte Achsenwinkel  $\alpha$  ist der Neigungswinkel der Achse **L** des Zahnradschneidwerkzeugs in Bezug auf die Achse **L<sub>w</sub>** des Werkstücks **W** und wird auf der Grundlage zum Beispiel der Profile der Zahnflanken, die an dem Werkstück **W** auszubilden sind, und des Verzahnungswinkels der Werkzeugschneide **41** bestimmt. Auf der Grundlage des gekreuzten Achsenwinkels  $\alpha$ , der durch die Berechnungseinheit **106** berechnet wird, bewirkt die Neigungssteuerungseinheit **103**, dass der Neigungstisch **36** verschwenkt wird, sodass der Neigungswinkel der Achse **L** des Zahnradschneidwerkzeugs **40** in Bezug auf die Achse **L<sub>w</sub>** des Werkstücks **W** der gekreuzte Achsenwinkel  $\alpha$  wird/ist.

**[0039]** Nachstehend ist der Korrekturwinkel  $\beta$  beschrieben. In diesem Ausführungsbeispiel ist der Korrekturwinkel  $\beta$  wie folgt definiert. Das heißt, unter der Annahme, dass eine Position, in der das Zahnradschneidwerkzeug **40** das Werkstück **W** schneidet, ein „Schneidpunkt **C**“ ist, ist ein Schneidpunkt **C**, wenn eine Schneidarbeit gestartet wird, als eine „Startpunkt **S**“ definiert und ist ein Schneidpunkt **C**, wenn das Zahnradschneidwerkzeug **40** um das vorbestimmte Vorschubausmaß **F** von dem Startpunkt **S** verschoben wird, als ein „Bewegungspunkt **M**“ definiert. Ein Schneidpunkt **C**, wenn das Zahnradschneidwerkzeug **40** um das vorbestimmte Vorschubausmaß **F** von dem Startpunkt **S** verschoben wird, während sich das Werkstück **W** und das Zahnradschneidwerkzeug **40** in einem vorbestimmten Referenzsynchrondrehzustand drehen, ist als ein „Referenzbewegungspunkt **MR**“ definiert. Ein Phasenverschiebungswinkel zu einer Seite in einer Umfangsrichtung des Werkstücks **W**, der festgelegt ist, um die Phase des Bewegungspunkts **M** von der des Referenzbewegungspunkts **MR** zu verschieben, wenn das Zahnradschneidwerkzeug **40** um das vorbestimmte Vorschubausmaß **F** von dem Startpunkt **S** verschoben wird, ist als der „Korrekturwinkel  $\beta$ “ definiert.

**[0040]** Der „Referenzsynchrondrehzustand“ ist ein Zustand, in dem sich das Werkstück **W** und das Zahnradschneidwerkzeug **40** synchron drehen, sodass der Schneidpunkt **C**, der sich gemeinsam mit dem Vorschubbetrieb bewegt, sich entlang einer Verzahnungsrichtung eines Zahns eines Zahnrads bewegt, das an dem Werkstück **W** auszubilden ist. Wenn ein schrägverzahntes Zahnrad an dem Werkstück **W** ausgebildet wird, ist der Referenzsynchrondrehzustand ein Zustand, in dem sich das Werkstück **W** und das Zahnradschneidwerkzeug **W** synchron drehen, sodass sich der Schneidpunkt **C** entlang einer Verzahnungsrichtung des Zahnrads bewegt, das an dem Werkstück **W** auszubilden ist. Wenn ein Stirnzahnrad (ein geradzahntes Zahnrad) an dem Werkstück **W** ausgebildet wird, ist der Referenzsynchrondrehzustand ein Zustand, in dem sich das Werkstück **W** und das Zahnradschneidwerkzeug **40** synchron drehen, sodass sich der Schneidpunkt **C** entlang der Richtung der Achse **Lw** des Werkstücks **W** bewegt.

**[0041]** Das heißt, die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** kann den Schneidpunkt **C** entlang einer Richtung einer Flankenlinie eines Zahnrads bewegen, das an dem Werkstück **W** auszubilden ist, durch Ausführen des Vorschubbetriebs, während sich das Werkstück **W** und das Zahnradschneidwerkzeug **40** in dem Referenzsynchrondrehzustand drehen. Die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** kann den Schneidpunkt **C** in einer Richtung unterschiedlich von der Richtung der Flankenlinie durch Ausführen des Vorschubbetriebs in einem Zustand bewegen, in dem sich das Werkstück **W** und das Zahnradschneidwerkzeug **40** mit einem Drehzahlverhältnis drehen, das sich von dem Referenzsynchrondrehzustand unterscheidet.

**[0042]** In diesem Ausführungsbeispiel ändert die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** das Drehzahlverhältnis zwischen dem Werkstück **W** und dem Zahnradschneidwerkzeug **40** (nachstehend vereinfacht als das „Drehzahlverhältnis“ bezeichnet) durch Ändern der Drehzahl des Werkstücks **W**, während eine konstante Drehzahl des Zahnradschneidwerkzeugs **40** gehalten wird. In diesem Fall kann die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** die Phase des Bewegungspunkts **M** von der Phase des Referenzbewegungspunkts **MR** zu der einen Seite in der Umfangsrichtung des Werkstücks **W** durch Erhöhen der Drehzahl des Werkstücks **W** verglichen zu der in dem Referenzsynchrondrehzustand verschieben. Die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** kann die Phase des Bewegungspunkts **M** von der Phase des Referenzbewegungspunkts **MR** zu der anderen Seite in der Umfangsrichtung des Werkstücks **W** durch Reduzieren der Drehzahl des Werkstücks **W** verglichen zu der in dem Referenzsynchrondrehzustand verschieben.

**[0043]** Somit kann die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** das Drehzahlverhältnis durch Ändern der

Drehzahl des Werkstücks **W** gleichmäßig ändern, während die konstante Drehzahl des Zahnradschneidwerkzeugs **40** gehalten wird. In diesem Ausführungsbeispiel wird die Drehzahl des Werkstücks **W** geändert, während die konstante Drehzahl des Zahnradschneidwerkzeugs **40** gehalten wird, jedoch kann die Drehzahl des Zahnradschneidwerkzeugs **40** geändert werden, während eine konstante Drehzahl des Werkstücks **W** gehalten wird.

**[0044]** In diesem Fall erhöht sich der Phasenverschiebungswinkel des Bewegungspunkts **M** von dem Referenzbewegungspunkt **MR**, wenn sich das Vorschubausmaß **F** bei dem Vorschubbetrieb erhöht. Daher ist es erforderlich, das Drehzahlverhältnis auf der Grundlage des Korrekturwinkels  $\beta$  und des Vorschubausmaßes **F** zu bestimmen. Die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** identifiziert einen Bearbeitungsweg auf der Grundlage des Bearbeitungsprogramms, leitet den Korrekturwinkel  $\beta$  und das Vorschubausmaß **F** auf der Grundlage des Bearbeitungswegs ab und berechnet das Drehzahlverhältnis mittels des Korrekturwinkels  $\beta$  und des Vorschubausmaßes **F**.

**[0045]** Nachstehend ist ein spezifisches Beispiel des Korrekturwinkels  $\beta$  in Bezug auf **Fig. 4A** und **Fig. 4B** beschrieben. Nachstehend ist ein Fall beschrieben, in dem eine rechte schräge Zahnflanke **122** und eine rechte Nebenzahnflanke **122a** eines Zahnradrutschverhinderungsabschnitts **120**, der in **Fig. 11** und **Fig. 12** dargestellt ist, ausgebildet wird.

**[0046]** **Fig. 4A** und **Fig. 4B** stellen einen Zustand dar, nachdem ein Keilverzahnungszahn **115a0** an der Innenumfangsfläche Werkstücks **W** ausgebildet worden ist. Der Keilverzahnungszahn **115a0** hat eine rechte Zahnflanke **115c** und eine linke Zahnflanke **115b**, die über den gesamten Bereich einer rechten Fläche **115B** und einer linken Fläche **115A** entsprechend ausgebildet sind. Das Zahnradbearbeitungsgerät **1** bildet die rechte schräge Zahnflanke **122** und die rechte Nebenzahnflanke **122a** an der rechten Zahnflanke **115c** des Keilverzahnungszahns **115a0** durch Bewegen des Schneidpunkts **C** entlang eines Bearbeitungswegs aus, der durch strichpunktierte Linien angezeigt ist. In **Fig. 4A** und **Fig. 4B** ist die Endfläche des Werkstücks **W** zur einfacheren Darstellung schraffiert dargestellt.

**[0047]** Wie in **Fig. 4A** und **Fig. 4B** dargestellt ist, ist die Richtung der Flankenlinie des Keilverzahnungszahns **115a0** parallel zu der Achse **Lw** des Werkstücks **W**. Der Bearbeitungsweg weist einen ersten Weg **P1** und einen zweiten Weg **P2** auf. Der Schneidpunkt **C** bewegt sich entlang des ersten Wegs **P1**, wenn die rechte schräge Zahnflanke **122** ausgebildet wird. Der Schneidpunkt **C** bewegt sich entlang des zweiten Wegs **P2**, wenn die rechte Nebenzahnflanke **122a** ausgebildet wird. Der erste Weg **P1** und der



zweite Weg **P2** sind in Bezug auf die Achse **Lw** des Werkstücks **W** geneigt.

[0048] Die Berechnungseinheit **106** berechnet zunächst ein Drehzahlverhältnis für eine Schneidarbeit entlang des ersten Wegs **P1**. Insbesondere leitet, nachdem der erste Weg **P1** identifiziert worden ist, die Berechnungseinheit **106** einen Startpunkt **S1** und einen Bewegungspunkt **M1** auf der Grundlage des ersten Wegs **P1** ab. Die Berechnungseinheit **106** leitet ein Vorschubausmaß **F1** zum Bewegen des Schneidpunkts **C** entlang des ersten Wegs **P1** auf der Grundlage des Startpunkts **S1** und des Bewegungspunkts **M1** ab und leitet einen Referenzbewegungspunkt **MR1** auf der Grundlage des Startpunkts **S1** und des Vorschubausmaßes **F1** ab. Dann leitet die Berechnungseinheit **106** einen Korrekturwinkel  $\beta_1$  auf der Grundlage des Referenzbewegungspunkts **MR1** und des Bewegungspunkts **M1** ab. Der Bewegungspunkt **M1** ist an der einen Seite in der Umfangsrichtung des Werkstücks **W** der linken Seite in **Fig. 4B** in Bezug auf den Referenzbewegungspunkt **MR1** angeordnet und daher ist der Korrekturwinkel  $\beta_1$  ein positiver Wert. Dann berechnet die Berechnungseinheit **106** ein Drehzahlverhältnis mittels des Korrekturwinkels  $\beta_1$  und des Vorschubausmaßes **F1**.

[0049] Die Berechnungseinheit **106** berechnet ein Drehzahlverhältnis zur Ausbildung entlang des zweiten Wegs **P2**. In diesem Fall identifiziert die Berechnungseinheit **106** einen Startpunkt **S2** und einen Bewegungspunkt **M2** des zweiten Wegs **P2** auf der Grundlage des zweiten Wegs **P2**. In dem zweiten Weg **P2** ist der Startpunkt **S2** in derselben Position wie die des Bewegungspunkts **M1** des ersten Wegs **P1** angeordnet. Die Berechnungseinheit **106** leitet einen Korrekturwinkel  $\beta_2$  auf der Grundlage eines Referenzbewegungspunkts **MR2** und des Bewegungspunkts **M2** ab und leitet ein Vorschubausmaß **F2** auf der Grundlage des Startpunkts **S2** und des Bewegungspunkts **M2** ab. Der Bewegungspunkt **M2** ist an der anderen Seite in der Umfangsrichtung des Werkstücks **W** (auf der rechten Seite in **Fig. 4B**) in Bezug auf den Referenzbewegungspunkt **MR2** angeordnet und daher ist der Korrekturwinkel  $\beta_2$  ein negativer Wert. Dann berechnet die Berechnungseinheit **106** ein Drehzahlverhältnis mittels des Korrekturwinkels  $\beta_2$  und des Vorschubausmaßes **F2**.

[0050] Ein Betrieb des Zahnradbearbeitungsgeräts **1**, wenn die rechte schräge Zahnflanke **122** und die rechte Nebenzahnflanke **122a** an der rechten Zahnflanke **115c** ausgebildet werden, ist in Bezug auf **Fig. 5** bis **Fig. 7C** beschrieben. Eine waagrechte Achse eines Diagramms, das in **Fig. 5** dargestellt ist, gibt eine verstrichene Zeit von dem Start eines Vorschubbetriebs wieder. Des Weiteren stellt **t1** eine Zeit dar, wann ein Vorschubbetrieb für eine Schneidarbeit für die rechte schräge Zahnflanke **122** beendet/abgeschlossen ist/wird, und **t2** stellt eine Zeit dar, wann ein

Vorschubbetrieb für eine Schneidarbeit für die rechte Nebenzahnflanke **122a** gestartet wird/ist.

[0051] **Fig. 6** stellt das Werkstück **W** dar, nachdem die Keilverzahnungszähne **115a0** ausgebildet worden sind. **Fig. 6** stellt nur eine Untergruppe der Keilverzahnungszähne **115a0** dar. Der erste Weg **P1**, der zweite Weg **P2**, ein dritter Weg **P3** und ein vierter Weg **P4** sind durch strichpunktierte Linien angezeigt. Der erste Weg **P1** und der zweite Weg **P2** sind Bearbeitungswege, wenn die rechte schräge Zahnflanke **122** und die rechte Nebenzahnflanke **122a** ausgebildet werden. Der dritte Weg **P3** und der vierte Weg **P4** sind Bearbeitungswege, wenn eine linke schräge Zahnflanke **121** und eine linke Nebenzahnflanke **121a** ausgebildet werden.

[0052] Wie in **Fig. 5** und **Fig. 7A** dargestellt ist, bewegt, wenn die rechte schräge Zahnflanke **122** ausgebildet ist, die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** den Schneidpunkt **C** von dem Startpunkt **S1** zu dem Bewegungspunkt **M1** durch Ausführen eines Vorschubbetriebs von der einen Drehachsenseite **Df** zu der anderen Drehachsenseite **Db** an dem Werkstück **W**, während sich das Werkstück **W** und das Zahnrad-schneidwerkzeug **40** mit demselben Drehverhältnis drehen, das im Voraus durch die Berechnungseinheit **106** berechnet wird. Da der Korrekturwinkel  $\beta_1$  ein positiver Wert ist, legt die Werkstückdrehungssteuerungseinheit **102** eine Drehzahl **Vw1** des Werkstücks **W** auf einen höheren Wert fest als eine Drehzahl **Vw0** in dem Referenzsynchondrehzustand. Zu dieser Zeit hält die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** eine konstante Vorschubgeschwindigkeit (**Vf**).

[0053] Wie in **Fig. 5** und **Fig. 7B** dargestellt ist, stoppt, wenn der Vorschubbetrieb für die Schneidarbeit für die rechte schräge Zahnflanke **122** beendet/abgeschlossen wird/ist (Zeit **t1**, die in **Fig. 5** dargestellt ist), die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** temporär den Vorschubbetrieb und legt die Drehzahl des Werkstücks **W** mit **Vw0** fest. Das heißt, das Zahnradbearbeitungsgerät **1** bringt das Werkstück **W** und das Zahnrad-schneidwerkzeug **40** in den Referenzsynchondrehzustand. Die Berechnungseinheit **106** berechnet ein Drehzahlverhältnis für eine Bewegung des Schneidpunkts **C** entlang des zweiten Wegs **P2**.

[0054] Wie in **Fig. 5** und in **Fig. 7C** dargestellt ist, ändert, wenn die Berechnung des Drehzahlverhältnisses beendet/abgeschlossen wird/ist (Zeit **t2**, die in **Fig. 5** dargestellt ist), die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** die Drehzahl des Werkstücks **W** von **Vw0** auf **Vw2** auf der Grundlage des berechneten Drehzahlverhältnisses. Die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** bewegt den Schneidpunkt **C** zu dem Bewegungspunkt **M2** durch Wiederaufnehmen des Vorschubbetriebs von der einen Drehachsenseite **Df** zu der anderen Drehachsenseite **Db**. Da der Korrekturwinkel  $\beta_2$  ein negativer Wert ist, legt die Werkstück-

drehungssteuerungseinheit **102** die Drehzahl **Vw2** des Werkstücks **W** auf einen niedrigeren Wert fest als die Drehzahl **Vw0** in dem Referenzsynchrodrehzustand. Zu dieser Zeit hält die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** die konstante Vorschubgeschwindigkeit (**Vf**).

**[0055]** Wenn die Schneidarbeit für die rechte Nebenzahnflanke **122a** beendet/abgeschlossen wird/ist, stoppt die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** temporär die Drehung des Werkstücks **W** und die Drehung des Zahnradschneidwerkzeugs **40** und führt einen Rückstellbetrieb für das Zahnradschneidwerkzeug **40** aus. Das heißt, die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** verschiebt das Zahnradschneidwerkzeug **40** von der anderen Drehachseseite **Db** zu der einen Drehachseseite **Df**, um das Zahnradschneidwerkzeug **40** zu einem Punkt zu bewegen, in dem eine Schneidarbeit zum Ausbilden der linken schrägen Zahnflanke **121** und der linken Nebenzahnflanke **121a** gestartet wird. Die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** stellt die Phasen der Keilverzahnungszähne **115a0**, die an dem Werkstück **W** ausgebildet werden, und der Werkzeugschneiden **41** des Zahnradschneidwerkzeugs **40** ein und führt dann die Schneidarbeit für die linke schräge Zahnflanke **121** und die linke Nebenzahnflanke **121a** durch Abläufe (Prozesse) aus, die ähnlich wie jene sind für die Schneidarbeit für die rechte schräge Zahnflanke **122** und die rechte Nebenzahnflanke **122a**.

**[0056]** Wie vorstehend beschrieben ist, führt die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** kontinuierlich die Schneidarbeit für die rechte schräge Zahnflanke **122** und die Schneidarbeit für die rechte Nebenzahnflanke **122a** während eines einzelnen Vorschubbetriebs aus. Die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** ändert den Korrekturwinkel  $\beta$  zwischen der Schneidarbeit für die rechte schräge Zahnflanke **122** und der Schneidarbeit für die rechte Nebenzahnflanke **122a**. Somit kann das Zahnradbearbeitungsgerät **1** eine Abmessungshandhabung von sowohl der rechten schrägen Zahnflanke **122** als auch der rechten Nebenzahnflanke **122a** ausführen. Demgemäß können die rechte schräge Zahnflanke **122** und die rechte Nebenzahnflanke **122a** mit hoher Genauigkeit ausgebildet werden.

**[0057]** In diesem Fall ändert die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** den Korrekturwinkel  $\beta$  in einem Zustand, in dem sich das Werkstück **W** und das Zahnradschneidwerkzeug **40** drehen. Somit kann das Zahnradbearbeitungsgerät **1** eine Zykluszeit verglichen zum Beispiel zu einem Fall reduzieren, in dem das Zahnradschneidwerkzeug **40** von dem Werkstück **W** getrennt wird, die Drehung des Werkstücks **W** und die Drehung des Zahnradschneidwerkzeugs **40** temporär gestoppt werden und die Phasen wieder beziehungsweise erneut eingestellt werden.

**[0058]** Nachstehend ist ein spezieller Zahnprofilbearbeitungsablauf(-prozess), der durch die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** auszuführen ist, in Bezug auf ein Ablaufdiagramm beschrieben, das in **Fig. 8** dargestellt ist. Der spezielle Zahnprofilbearbeitungsablauf wird ausgeführt, wenn die Keilverzahnungszähne **115a0** an der Innenumfangsfläche des Werkstücks **W** ausgebildet werden und dann die rechte schräge Zahnflanke **122** und die rechte Nebenzahnflanke **122a** an jeder rechten Fläche **115b** ausgebildet werden.

**[0059]** Wie in **Fig. 8** dargestellt ist, liest die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** zunächst das Bearbeitungsprogramm, das in der Bearbeitungsprogrammspeichereinheit **105** gespeichert ist, in dem speziellen Zahnprofilbearbeitungsablauf (**S1**). Die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** identifiziert den ersten Weg **P1** und den zweiten Weg **P2** auf der Grundlage des Bearbeitungsprogramms. Dann leitet die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** den gekreuzten Achsenwinkel  $\alpha$ , den Korrekturwinkel  $\beta_1$  und das Vorschubausmaß **F1** auf der Grundlage des ersten Wegs **P1** ab und berechnet ein Drehzahlverhältnis (**S2**). Dann führt die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** eine Schneidarbeit für die rechte schräge Zahnflanke **122** durch Ausführen eines Vorschubbetriebs von der einen Drehachseseite **Df** zu der anderen Drehachseseite **Db** aus, während sich das Werkstück **W** und das Zahnradschneidwerkzeug **40** mit dem berechneten Drehzahlverhältnis drehen (**S3**: erster Schneidschritt).

**[0060]** Ein Ablauf von **S4** betrifft ein Bestimmen, ob die Schneidarbeit für die rechte schräge Zahnflanke **122** beendet ist. Wenn die Schneidarbeit für die rechte schräge Zahnflanke **122** nicht beendet ist (**S4**: Nein), wiederholt die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** den Ablauf von **S4**. Wenn die Schneidarbeit für die rechte schräge Zahnflanke **122** beendet ist (**S4**: Ja), stoppt die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** den Vorschubbetrieb (**S5**) und legt den Korrekturwinkel mit  $0^\circ$  fest (**S6**). Das heißt, in dem Ablauf von **S5** und dem Ablauf von **S6** dreht das Zahnradbearbeitungsgerät **1** das Werkstück **W** und das Zahnradschneidwerkzeug **40** in dem Referenzsynchrodrehzustand, während der Vorschubbetrieb von der einen Drehachseseite **Df** zu der anderen Drehachseseite **Db** gestoppt ist. Die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** leitet den Korrekturwinkel  $\beta_2$  und das Vorschubausmaß **F2** auf der Grundlage des zweiten Wegs **P2** ab und berechnet ein Drehzahlverhältnis (**S7**: Korrekturwinkeländerungsschritt). Zu dieser Zeit wird der Neigungswinkel der Achse **L** des Zahnradschneidwerkzeugs **40** in Bezug auf die Achse **Lw** des Werkstücks **W** auf dem gekreuzten Achsenwinkel  $\alpha$  gehalten.

**[0061]** Wie vorstehend beschrieben ist, legt die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** den Korrekturwin-

kel mit 0° während einer Dauer von dem Ende der Schneidarbeit für die rechte schräge Zahnflanke **122** bis zu dem Start der Schneidarbeit für die rechte Nebenzahnflanke **122a** fest. Somit kann das Zahnradbearbeitungsgerät **1** verhindern, dass das Zahnrad-schneidwerkzeug **40** mit benachbarten Innenzähnen **115a** während der Dauer von dem Ende des Schneidwerkzeugs für die rechte schräge Zahnflanke **122** bis zu dem Start der Schneidarbeit für die rechte Nebenzahnflanke **122a** in Kontakt kommt. Des Weiteren kann das Zahnradbearbeitungsgerät **1** das Auftreten eines Falls reduzieren, in dem sich der Schneidpunkt **C** relativ zu einer Position bewegt, die von dem Bearbeitungsweg in der Umfangsrichtung des Werkstücks **W** abweicht. Somit kann die Bearbeitungsgenauigkeit verbessert werden. Zu dieser Zeit stoppt die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** temporär den Vorschubbetrieb während der Dauer von dem Ende der Schneidarbeit für die rechte schräge Zahnflanke **122** bis zu dem Start der Schneidarbeit für die rechte Nebenzahnflanke **122a**. Somit kann das Zahnradbearbeitungsgerät das Auftreten eines Falls reduzieren, in dem sich der Schneidpunkt **C** relativ zu einer Position bewegt, die von dem Bearbeitungsweg in der Richtung der Achse **Lw** des Werkstücks **W** abweicht.

**[0062]** Wenn der Ablauf von **S7** beendet wird/ist, führt die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** eine Schneidarbeit für die rechte Nebenzahnflanke **122a** durch Ausführen eines Vorschubbetriebs von der einen Drehachseseite **Df** zu der anderen Drehachseseite **Db** aus, während sich das Werkstück **W** und das Zahnrad-schneidwerkzeug **40** mit dem berechneten Drehzahlverhältnis drehen (**S8**: zweiter Schneid-schritt).

**[0063]** Ein Ablauf von **S9** betrifft ein Bestimmen, ob die Schneidarbeit für die rechte Nebenzahnflanke **122a** beendet ist. Wenn die Schneidarbeit für die rechte Nebenzahnflanke **122** nicht beendet ist (**S9**: Nein), wiederholt die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** den Ablauf von **S9**. Wenn die Schneidarbeit für die rechte Nebenzahnflanke **122a** beendet ist (**S9**: Ja), stoppt die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** den Vorschubbetrieb (**S10**) und stoppt die Drehung des Werkstücks **W** und die Drehung des Zahnrad-schneidwerkzeugs **40** (**S11**). Dann führt die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** einen Rückstellbetrieb von der anderen Drehachseseite **Db** zu der einen Drehachseseite **Df** aus (**S12**) und beendet diesen Ablauf.

**[0064]** Wenn der spezielle Zahnprofilbearbeitungsablauf, der vorstehend beschrieben ist, beendet wird/ist, stellt die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** die Phasen der Keilverzahnungszähne **115a0**, die an dem Werkstück **W** ausgebildet werden, und der Werkzeugschneide **41** des Zahnrad-schneidwerkzeugs **40** ein. Dann führt die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** eine Schneidarbeit für die linke

schräge Zahnflanke **121** und die linke Nebenzahnflanke **121a** aus, während sich das Werkstück **W** und das Zahnrad-schneidwerkzeug **40** in Richtungen drehen, die entgegengesetzt zu jenen bei der Schneidarbeit für die rechte schräge Zahnflanke **122** und für die rechte Nebenzahnflanke **122a** sind. Die Schneidarbeit für die linke schräge Zahnflanke **121** und die linke Nebenzahnflanke **121a** wird durch einen Ablauf (Prozess) ausgeführt, der ähnlich beziehungsweise gleich wie der spezielle Zahnprofilbearbeitungsablauf ist.

**[0065]** Wie vorstehend beschrieben ist, führt die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** kontinuierlich die Schneidarbeit für die rechte schräge Zahnflanke **122** und die Schneidarbeit für die rechte Nebenzahnflanke **122a** aus und führt dann kontinuierlich die Schneidarbeit für die linke schräge Zahnflanke **121** und die Schneidarbeit für die linke Nebenzahnflanke **121a** aus. Daher ist es möglich, die Anzahl des Stoppens der Drehung des Werkstücks **W** und der Drehung des Zahnrad-schneidwerkzeugs **40** zu reduzieren. Somit kann das Zahnradbearbeitungsgerät **1** die Schneidarbeit effizient ausführen, selbst wenn die zwei Zahnflanken mit unterschiedlichen Verzahnungswinkeln (die rechte schräge Zahnflanke **122** und die rechte Nebenzahnflanke **122a**) an der rechten Fläche **115B** durch eine Schneidarbeit ausgebildet werden. Demgemäß kann die Zykluszeit reduziert werden.

**[0066]** In dem speziellen Zahnprofilbearbeitungsablauf, der vorstehend beschrieben ist, ist der beispielhafte Fall beschrieben, in dem die Schneidarbeit für die rechte schräge Zahnflanke **122** und die Schneidarbeit für die rechte Nebenzahnflanke **122a** durch den einzelnen Vorschubbetrieb ausgeführt werden. Die Schneidarbeit für die rechte schräge Zahnflanke **122** und die Schneidarbeit für die rechte Nebenzahnflanke **122a** können durch eine Vielzahl von Vorschubbetrieben ausgeführt werden. In dem Beispiel, das vorstehend beschrieben ist, ist der Fall beschrieben, in dem die linke schräge Zahnflanke **121** und die linke Nebenzahnflanke **121a** ausgebildet werden, nachdem die rechte schräge Zahnflanke **122** und die rechte Nebenzahnflanke **122a** ausgebildet worden sind. Die rechte schräge Zahnflanke **122** und die rechte Nebenzahnflanke **122a** können ausgebildet werden, nachdem die linke schräge Zahnflanke **121** und die linke Nebenzahnflanke **121a** ausgebildet worden sind. In diesem Fall kann die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** auch das Stoppen der Anzahl der Drehung des Werkstücks **W** und der Drehung des Zahnrad-schneidwerkzeugs **40** reduzieren und daher kann die Zykluszeit reduziert werden.

**[0067]** Das Zahnradbearbeitungsgerät **1** kann die Keilverzahnungszähne **115a0** mittels des Zahnrad-schneidwerkzeugs **40** ausbilden. In diesem Fall kann das Zahnradbearbeitungsgerät **1** eine Notwendigkeit

einer Bewegung des Werkstücks **W** verglichen zu dem Fall beseitigen, in dem die Keilverzahnungszähne **115a0** durch Räumen oder Zahnradformen ausgebildet werden. Nachdem die Keilverzahnungszähne **115a0** ausgebildet worden sind, kann das Zahnradbearbeitungsgerät **1** zu der Bearbeitung für die Zahnradrutschverhinderungsabschnitte **120** ohne ein Freigeben des Werkstücks **W** von der Werkstückhalterungsvorrichtung **30** voranschreiten. Somit kann das Zahnradbearbeitungsgerät **1** eine Notwendigkeit zum Zentrieren beseitigen, bevor die Schneidarbeit für die Zahnradrutschverhinderungsabschnitte **120** gestartet wird. Als Ergebnis kann das Zahnradbearbeitungsgerät **1** die Zykluszeit reduzieren und die Bearbeitungsgenauigkeit verbessern.

**[0068]** In diesem Fall kann das Zahnradbearbeitungsgerät **1** den gekreuzten Achsenwinkel  $\alpha$  bei der Schneidarbeit für die Keilverzahnungszähne **115a0** gleich wie den gekreuzten Achsenwinkel  $\alpha$  des Zahnradschneidwerkzeugs **40** bei der Schneidarbeit für die rechte schräge Zahnflanke **122** und die rechte Nebenzahnflanke **122a** festlegen. In diesem Fall führt die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** die Berechnung des gekreuzten Achsenwinkels aus, die in dem Ablauf von **S2** des speziellen Zahnprofilbearbeitungsablaufs ausgeführt wird, der vorstehend beschrieben ist, vor der Schneidarbeit für die Keilverzahnungszähne **115a0** aus. Somit kann das Zahnradbearbeitungsgerät **1** eine Notwendigkeit zur Änderung des Neigungswinkels der Achse **L** des Zahnradschneidwerkzeugs **40** in Bezug auf die Achse **Lw** des Werkstücks **W** nach der Schneidarbeit für die Keilverzahnungszähne **115a0** beseitigen und daher kann die Zykluszeit reduziert werden.

**[0069]** Wie vorstehend beschrieben ist, führt die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** kontinuierlich die Schneidarbeit für die rechte schräge Zahnflanke **122** und die Schneidarbeit für die rechte Nebenzahnflanke **122a** während des einzelnen Vorschubbetriebs aus, wenn die rechte schräge Zahnflanke **122** und die rechte Nebenzahnflanke **122a** an der rechten Fläche **115B** jedes Keilverzahnungszahns **115a0** ausgebildet werden. Das heißt, das Zahnradbearbeitungsgerät **1** führt sowohl die Schneidarbeit für die rechte schräge Zahnflanke **122** als auch die Schneidarbeit für die rechte Nebenzahnflanke **122a** aus, während der Vorschubbetrieb ausgeführt wird.

**[0070]** Die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** ändert den Korrekturwinkel  $\beta$  zwischen der Schneidarbeit für die rechte schräge Zahnflanke **122** und der Schneidarbeit für die rechte Nebenzahnflanke **122a**. Somit kann das Zahnradbearbeitungsgerät **1** eine Abmessungshandhabung von sowohl der rechten schrägen Zahnflanke **122** als auch der rechten Nebenzahnflanke **122a** ausführen. Demgemäß können die rechte schräge Zahnflanke **122** und die rech-

te Nebenzahnflanke **122a** mit hoher Genauigkeit ausgebildet werden.

**[0071]** Die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** ändert das Drehzahlverhältnis des Werkstücks **W** zu dem Zahnradschneidwerkzeug **40** zwischen der Schneidarbeit für die rechte schräge Zahnflanke **122** und der Schneidarbeit für die rechte Nebenzahnflanke **122a**. Somit kann die Schneidarbeit kontinuierlich für die rechte schräge Zahnflanke **122** und die rechte Nebenzahnflanke **122a** mit unterschiedlichen Verzahnungswinkeln ausgeführt werden, während der Zustand gehalten wird, in dem sich das Werkstück **W** und das Zahnradschneidwerkzeug **40** drehen.

**[0072]** Wenn die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** die Schneidarbeit für die rechte schräge Zahnflanke **122** und die Schneidarbeit für die rechte Nebenzahnflanke **122a** während des einzelnen Vorschubbetriebs kontinuierlich ausführt, ändert die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** den Korrekturwinkel  $\beta$  zu dem Zeitpunkt, wann die Schneidarbeit für die rechte schräge Zahnflanke **122** beendet wird. In diesem Fall ändert die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** den Korrekturwinkel  $\beta$  in dem Zustand, in dem sich das Werkstück **W** und das Zahnradschneidwerkzeug **40** drehen. Somit kann das Zahnradbearbeitungsgerät **1** die Zykluszeit verglichen zum Beispiel zu dem Fall reduzieren, in dem das Zahnradschneidwerkzeug **40** temporär von dem Werkstück **W** getrennt wird und das Werkstück **W** und das Zahnradschneidwerkzeug **40** temporär gestoppt werden.

**[0073]** Die rechte schräge Zahnflanke **122** ist zu der einen Seite in der Umfangsrichtung des Werkstücks **W** in Bezug auf die Achse **Lw** des Werkstücks **W** geneigt und die rechte Nebenzahnflanke **122a** ist zu der anderen Seite der Umfangsrichtung des Werkstücks **W** in Bezug auf die Achse **Lw** geneigt. Wenn dieses spezielle Zahnprofil durch das Zahnradbearbeitungsgerät **1** ausgebildet wird, führt die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** kontinuierlich die Schneidarbeit für die rechte schräge Zahnflanke **122** und die Schneidarbeit für die rechte Nebenzahnflanke **122a** während des einzelnen Vorschubbetriebs aus und ändert den Korrekturwinkel  $\beta$  zu dem Zeitpunkt, wann die Schneidarbeit für die rechte schräge Zahnflanke **122** beendet wird. Die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** legt den Korrekturwinkel  $\beta$  mit einem positiven Winkel bei der Schneidarbeit für die rechte schräge Zahnflanke **122** fest und legt den Korrekturwinkel  $\beta$  mit einem negativen Winkel bei der Schneidarbeit für die rechte Nebenzahnflanke **122a** fest. Somit kann die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** die Zykluszeit reduzieren und die Bearbeitungsgenauigkeit verbessern, selbst wenn der Innenzahn **115a** ein spezielles Zahnprofil hat.

**[0074]** Die vorliegende Erfindung ist vorstehend auf der Grundlage des Ausführungsbeispiels beschrie-

ben, jedoch ist sie nicht auf die vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt. Es ist einfach zu verstehen, dass verschiedene Modifikationen gemacht werden können, ohne von dem Geist der Erfindung abzuweichen. In dem vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiel ist die Erfindung bei dem Fall angewandt, in dem die Zahnradrutschverhinderungsabschnitte **120** an den Keilverzahnungszähnen **115a0** ausgebildet werden/sind, jedoch ist die vorliegende Erfindung auch bei Fällen anwendbar, die von den Fällen verschieden sind, in denen die Zahnradrutschverhinderungsabschnitte **120** ausgebildet sind/werden.

**[0075]** Zum Beispiel ist in diesem Ausführungsbeispiel der Fall beschrieben, in dem die Verzahnungsrichtungen einer ersten Zahnflanke (einer rechten schrägen Zahnflanke **122**) und einer zweiten Zahnflanke (einer rechten Nebenzahnflanke **122a**) verschieden sind. Die vorliegende Erfindung ist nicht auf diesen Fall beschränkt. Das heißt, die vorliegende Erfindung ist auch bei einem Fall anwendbar, in dem die Verzahnungsrichtungen der ersten Zahnflanke und der zweiten Zahnflanke gleich sind. In diesem Fall legt die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** den Korrekturwinkel mit einem positiven Wert und einen negativen Wert sowohl bei der Ausbildung der ersten Zahnflanke als auch bei der Ausbildung der zweiten Zahnflanke fest und ändert das Drehzahlverhältnis zwischen der Ausbildung der ersten Zahnflanke und der Ausbildung der zweiten Zahnflanke. Somit können die erste Zahnflanke und die zweite Zahnflanke mit unterschiedlichen Verzahnungswinkeln effizient mit hoher Genauigkeit ausgebildet werden.

**[0076]** In dem vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiel ist der Fall beschrieben, in dem die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** den Vorschubbetrieb während der Dauer von dem Ende der Schneidarbeit für die rechte schräge Zahnflanke **122** bis zu dem Start der Schneidarbeit für die rechte Nebenzahnflanke **122a** temporär stoppt. Die vorliegende Erfindung ist nicht auf diesen Fall beschränkt. Das heißt, die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** kann den Vorschubbetrieb ausführen, während der Vorschubbetrieb während der Dauer von dem Ende der Schneidarbeit für die rechte schräge Zahnflanke **122** bis zu einem Start der Schneidarbeit für die rechte Nebenzahnflanke **122a** verzögert wird. Des Weiteren kann die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** den Vorschubbetrieb mit einer konstanten Geschwindigkeit während einer Dauer von dem Start der Schneidvorrichtung für die rechte schräge Zahnflanke **122** bis zu dem Ende der Schneidarbeit für die rechte Nebenzahnflanke **122a** ausführen.

**[0077]** Wenn die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** das Drehzahlverhältnis für die Schneidarbeit für die rechte schräge Zahnflanke **122** berechnet, kann die Bearbeitungssteuerungseinheit **100** das Dreh-

zahlverhältnis für die Schneidarbeit für die rechte Nebenzahnflanke **122a** auch berechnen. Somit ist es möglich, eine Zeit, die erforderlich ist, bis die Schneidarbeit für die rechte Nebenzahnflanke **122a** gestartet wird, zu reduzieren. Wenn das Zahnradbearbeitungsgerät **1** den Vorschubbetrieb ausführt, während der Vorschubbetrieb während der Dauer von dem Ende der Schneidarbeit für die rechte schräge Zahnflanke **122** bis zu einem Start der Schneidarbeit für die rechte Nebenzahnflanke **122a** verzögert wird, ist es möglich, das Auftreten des Falles zu reduzieren, in dem der Schneidpunkt **C** von dem Bearbeitungsweg in der Richtung der Achse **L<sub>w</sub>** des Werkstücks **W** abweicht, während die Drehzahl des Werkstücks **W** geändert wird. Wenn das Zahnradbearbeitungsgerät **1** den Vorschubbetrieb mit der konstanten Geschwindigkeit während der Dauer von dem Start der Schneidarbeit für die rechte schräge Zahnflanke **122** bis zu dem Ende der Schneidarbeit für die rechte Nebenzahnflanke **122a** ausführt, kann die Zykluszeit reduziert werden, da der Vorschubbetrieb nicht verzögert oder gestoppt wird.

**[0078]** Ein Zahnradbearbeitungsgerät **1** führt eine Schneidarbeit (Zerspanungsarbeit) für ein Werkstück **W** aus und erzeugt ein Zahnrad durch Ausführen eines Vorschubbetriebs eines Zahnradschneidwerkzeugs **40** relativ zu dem Werkstück **W** entlang einer Richtung einer Achse **L<sub>w</sub>** des Werkstücks **W**, während sich das Zahnradschneidwerkzeug **40** und das Werkstück **W** in einem Zustand synchron drehen, in dem eine Achse **L** des Zahnradschneidwerkzeugs **40** in Bezug auf eine Linie parallel zu der Achse **L<sub>w</sub>** des Werkstücks **W** geneigt ist. Das Zahnradbearbeitungsgerät **1** führt eine Schneidarbeit (Zerspanungsarbeit) für eine erste Zahnflanke und eine Schneidarbeit (Zerspanungsarbeit) für eine zweite Zahnflanke während eines einzelnen Vorschubbetriebs kontinuierlich aus und ändert einen Korrekturwinkel zwischen der Schneidarbeit für die erste Zahnflanke und der Schneidarbeit für die zweite Zahnflanke.

**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 661340 [0014]
- JP 6061340 U [0014]
- JP 2005152940 [0014]
- JP 2005152940 A [0014]
- JP 2018079558 A [0014, 0015]

## Patentansprüche

1. Zahnradbearbeitungsgerät, das gestaltet ist, um eine Schneidarbeit für ein Werkstück auszuführen und ein Zahnrad durch Ausführen eines Vorschubbetriebs eines Zahnradschneidwerkzeugs relativ zu dem Werkstück entlang einer Richtung einer Achse des Werkstücks zu erzeugen, während sich das Zahnradschneidwerkzeug und das Werkstück in einem Zustand synchron drehen, in dem eine Achse des Zahnradschneidwerkzeugs in Bezug auf eine Linie parallel zu der Achse des Werkstücks geneigt ist, wobei

das Zahnrad eine Vielzahl von Zähnen hat, die jeweils eine Fläche haben, die Folgendes aufweist:

eine erste Zahnflanke; und

eine zweite Zahnflanke, die kontinuierlich zu der ersten Zahnflanke ausgebildet ist und einen Verzahnungswinkel hat, der sich von einem Verzahnungswinkel der ersten Zahnflanke unterscheidet,

das Zahnradbearbeitungsgerät eine Bearbeitungssteuerungseinheit aufweist, die gestaltet ist, um eine Drehung des Werkstücks und eine Drehung des Zahnradschneidwerkzeugs zu steuern und um den Vorschubbetrieb des Zahnradschneidwerkzeugs relativ zu dem Werkstück zu steuern, wobei

eine Position, in der das Zahnradschneidwerkzeug die Fläche schneidet, als ein Schneidpunkt definiert ist, wobei der Schneidpunkt, wenn die Schneidarbeit gestartet wird, als ein Startpunkt definiert ist, und der Schneidpunkt, wenn das Zahnradschneidwerkzeug um ein vorbestimmtes Vorschubausmaß von dem Startpunkt verschoben wird, als ein Bewegungspunkt definiert ist,

der Schneidpunkt, wenn das Zahnradschneidwerkzeug um das vorbestimmte Vorschubausmaß von dem Startpunkt verschoben wird, während sich das Werkstück und das Zahnradschneidwerkzeug in einem vorbestimmten Referenzsynchrondrehzustand drehen, als ein Referenzbewegungspunkt definiert ist,

ein Phasenverschiebungswinkel zu einer Seite in einer Umfangsrichtung des Werkstücks, der festgelegt ist, um eine Phase des Bewegungspunkts von einer Phase des Referenzbewegungspunkts zu verschieben, wenn das Zahnradschneidwerkzeug um das vorbestimmte Vorschubausmaß von dem Startpunkt verschoben wird, als ein Korrekturwinkel definiert ist, und

die Bearbeitungssteuerungseinheit gestaltet ist, um die Schneidarbeit für die erste Zahnflanke und die Schneidarbeit für die zweite Zahnflanke während des Vorschubbetriebs, der bei einem einzelnen Anlass ausgeführt wird, kontinuierlich auszuführen und um den Korrekturwinkel zwischen der Schneidarbeit für die erste Zahnflanke und der Schneidarbeit für die zweite Zahnflanke zu ändern.

2. Zahnradbearbeitungsgerät nach Anspruch 1, wobei die Bearbeitungssteuerungseinheit gestaltet

ist, um den Vorschubbetrieb während einer Dauer von einem Ende der Schneidarbeit für die erste Zahnflanke bis zu einem Start der Schneidarbeit für die zweite Zahnflanke temporär zu stoppen.

3. Zahnradbearbeitungsgerät nach Anspruch 1, wobei die Bearbeitungssteuerungseinheit gestaltet ist, um den Vorschubbetrieb, während der Vorschubbetrieb verzögert wird, während einer Dauer von einem Ende der Schneidarbeit für die erste Zahnflanke bis zu einem Start der Schneidarbeit für die zweite Zahnflanke auszuführen.

4. Zahnradbearbeitungsgerät nach Anspruch 1, wobei die Bearbeitungssteuerungseinheit gestaltet ist, um den Vorschubbetrieb mit einer konstanten Geschwindigkeit während einer Dauer von einem Start der Schneidarbeit für die erste Zahnflanke bis zu einem Ende der Schneidarbeit für die zweite Zahnflanke auszuführen.

5. Zahnradbearbeitungsgerät nach einem der Ansprüche 2 bis 4, wobei die Bearbeitungssteuerungseinheit gestaltet ist, um den Korrekturwinkel mit  $0^\circ$  während der Dauer von dem Ende der Schneidarbeit für die erste Zahnflanke bis zu dem Start der Schneidarbeit für die zweite Zahnflanke festzulegen.

6. Zahnradbearbeitungsgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Bearbeitungssteuerungseinheit gestaltet ist, um den Korrekturwinkel mit einem positiven Winkel bei einer von der Schneidarbeit für die erste Zahnflanke und der Schneidarbeit für die zweite Zahnflanke festzulegen und um den Korrekturwinkel mit einem negativen Winkel bei der anderen von der Schneidarbeit für die erste Zahnflanke und der Schneidarbeit für die zweite Zahnflanke festzulegen.

7. Zahnradbearbeitungsgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Bearbeitungssteuerungseinheit gestaltet ist, um ein Drehzahlverhältnis des Werkstücks zu dem Zahnradschneidwerkzeug zwischen der Bearbeitungszeit für die erste Zahnflanke und der Bearbeitungszeit für die zweite Zahnflanke zu ändern.

8. Zahnradbearbeitungsgerät nach Anspruch 7, wobei die Bearbeitungssteuerungseinheit gestaltet ist, um eine Drehzahl von einem von dem Werkstück und dem Zahnradschneidwerkzeug auf einer konstanten Drehzahl zu halten und um eine Drehzahl des anderen von dem Werkstück und dem Zahnradschneidwerkzeug bei der Schneidarbeit für die erste Zahnflanke und bei der Schneidarbeit für die zweite Zahnflanke zu ändern.

9. Zahnradbearbeitungsverfahren zum Ausführen einer Schneidarbeit für ein Werkstück und zum Erzeugen eines Zahnrads durch Ausführen eines Vor-

schubbetriebs eines Zahnradschneidwerkzeugs relativ zu dem Werkstück entlang einer Richtung einer Achse des Werkstücks, während sich das Zahnradschneidwerkzeug und das Werkstück in einem Zustand synchron drehen, in dem eine Achse des Zahnradschneidwerkzeugs in Bezug auf eine Linie parallel zu der Achse des Werkstücks geneigt ist, wobei das Zahnrad eine Vielzahl von Zähnen hat, die jeweils eine Fläche haben, die Folgendes aufweist: eine erste Zahnflanke; und eine zweite Zahnflanke, die kontinuierlich zu der ersten Zahnflanke ausgebildet ist und einen Verzahnungswinkel hat, der sich von einem Verzahnungswinkel der ersten Zahnflanke unterscheidet, eine Position, in der das Zahnradschneidwerkzeug die Fläche schneidet, als ein Schneidpunkt definiert ist, wobei der Schneidpunkt, wenn die Schneidarbeit gestartet wird, als ein Startpunkt definiert ist, und der Schneidpunkt, wenn das Zahnradschneidwerkzeug um ein vorbestimmtes Vorschubausmaß von dem Startpunkt verschoben wird, als ein Bewegungspunkt definiert ist, der Schneidpunkt, wenn das Zahnradschneidwerkzeug um das vorbestimmte Vorschubausmaß von dem Startpunkt verschoben wird, während sich das Werkstück und das Zahnradschneidwerkzeug in einem vorbestimmten Referenzsynchrondrehzustand drehen, als ein Referenzbewegungspunkt definiert ist, und ein Phasenverschiebungswinkel zu einer Seite in einer Umfangsrichtung des Werkstücks, der festgelegt ist, um eine Phase des Bewegungspunkts von einer Phase des Referenzbewegungspunkts zu verschieben, wenn das Zahnradschneidwerkzeug um das vorbestimmte Vorschubausmaß von dem Startpunkt verschoben wird, als ein Korrekturwinkel definiert ist, wobei das Zahnradbearbeitungsverfahren ein kontinuierliches Ausführen der Schneidarbeit für die erste Zahnflanke und der Schneidarbeit für die zweite Zahnflanke während des Vorschubbetriebs, der bei einem einzelnen Anlass ausgeführt wird, und ein Ändern des Korrekturwinkels zwischen der Schneidarbeit für die erste Zahnflanke und der Schneidarbeit für die zweite Zahnflanke aufweist.

10. Zahnradbearbeitungsverfahren nach Anspruch 9, das des Weiteren Folgendes aufweist: Schneiden der ersten Zahnflanke in einem Zustand, in dem der Korrekturwinkel mit einem ersten Winkel festgelegt ist; Ändern des Korrekturwinkels von dem ersten Winkel zu einem zweiten Winkel, während sich das Werkstück und das Zahnradschneidwerkzeug drehen; und Schneiden der zweiten Zahnflanke in einem Zustand, in dem der Korrekturwinkel mit dem zweiten Winkel festgelegt ist.

11. Zahnradbearbeitungsverfahren nach Anspruch 10, wobei das Ändern des Korrekturwinkels in einem

Zustand ausgeführt wird, in dem der Vorschubbetrieb gestoppt ist.

12. Zahnradbearbeitungsverfahren nach Anspruch 10, wobei das Ändern des Korrekturwinkels ausgeführt wird, während der Vorschubbetrieb verzögert wird.

13. Zahnradbearbeitungsverfahren nach Anspruch 10, wobei das Ändern des Korrekturwinkels in einem Zustand ausgeführt wird, in dem eine Geschwindigkeit des Vorschubbetriebs mit derselben Geschwindigkeit zwischen dem Schneiden der ersten Zahnflanke und dem Schneiden der zweiten Zahnflanke festgelegt ist.

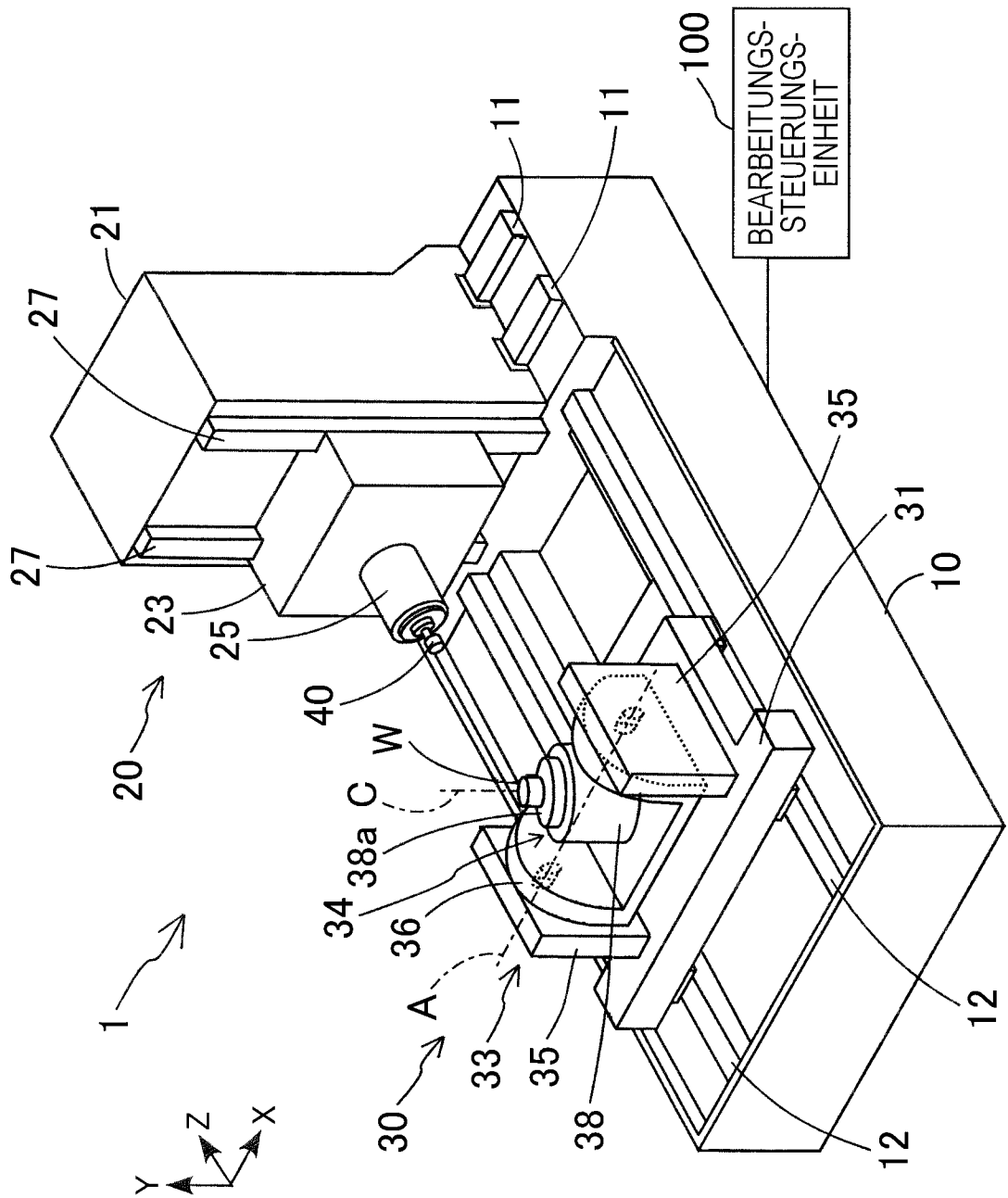
14. Zahnradbearbeitungsverfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, wobei das Ändern des Korrekturwinkels in einem Zustand ausgeführt wird, in dem der Korrekturwinkel mit  $0^\circ$  festgelegt ist.

Es folgen 15 Seiten Zeichnungen



Anhängende Zeichnungen

FIG. 1



*FIG. 2*

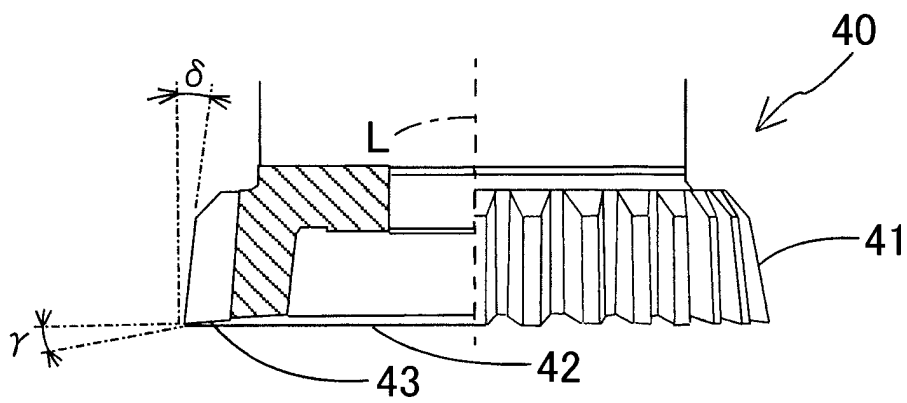
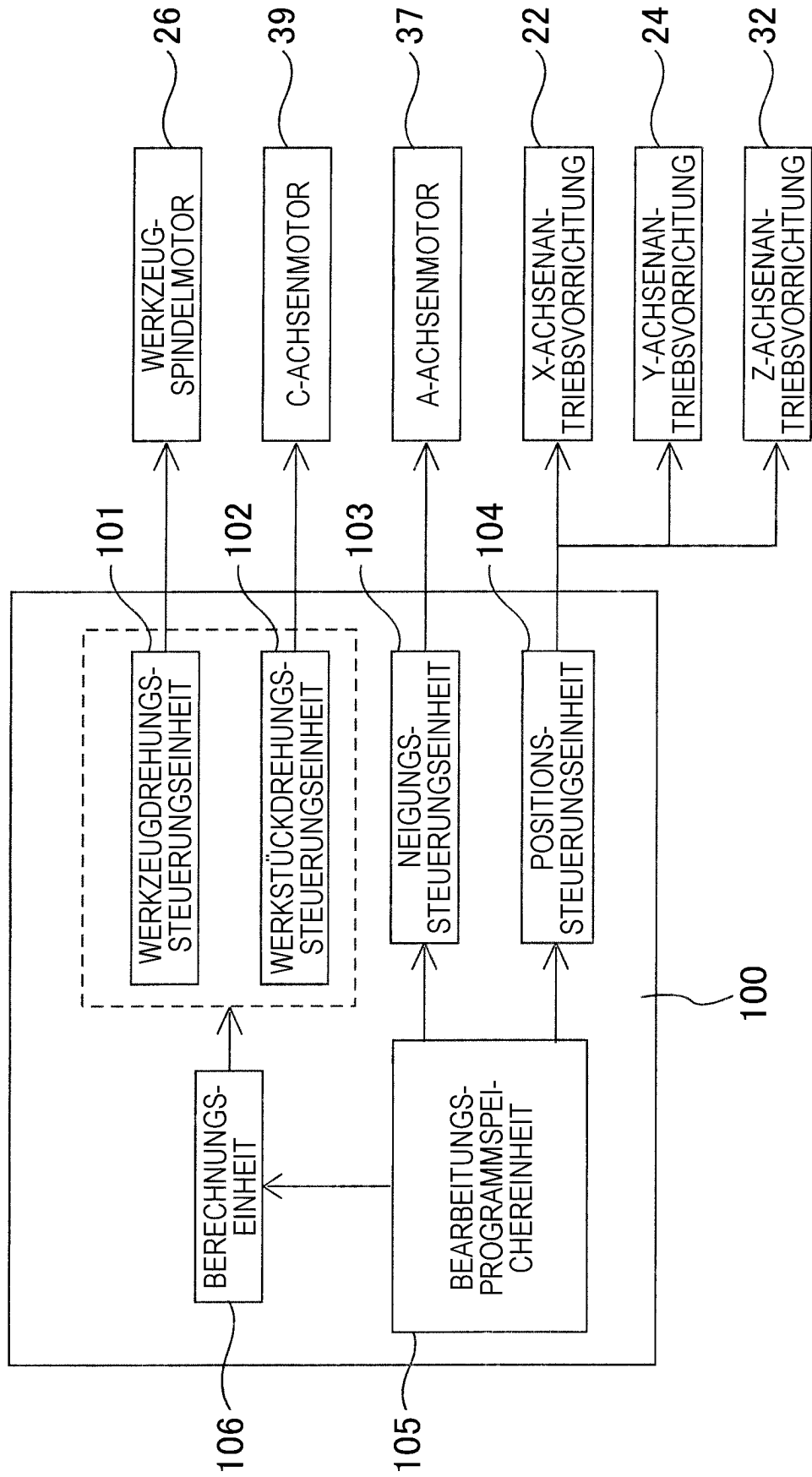
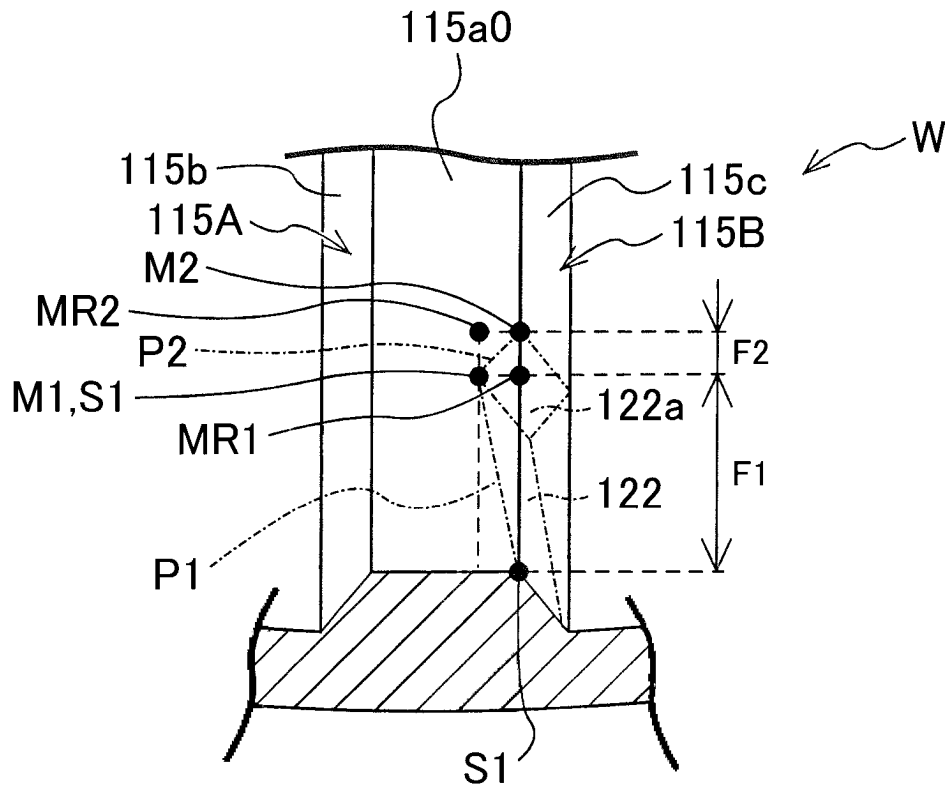


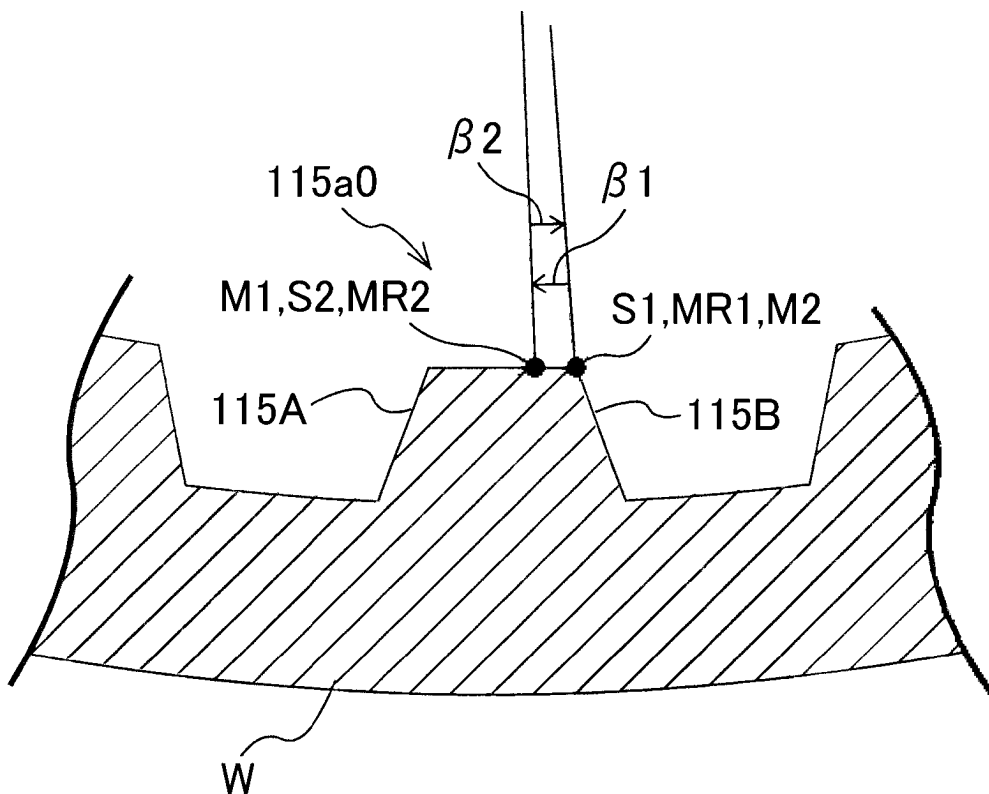
FIG. 3



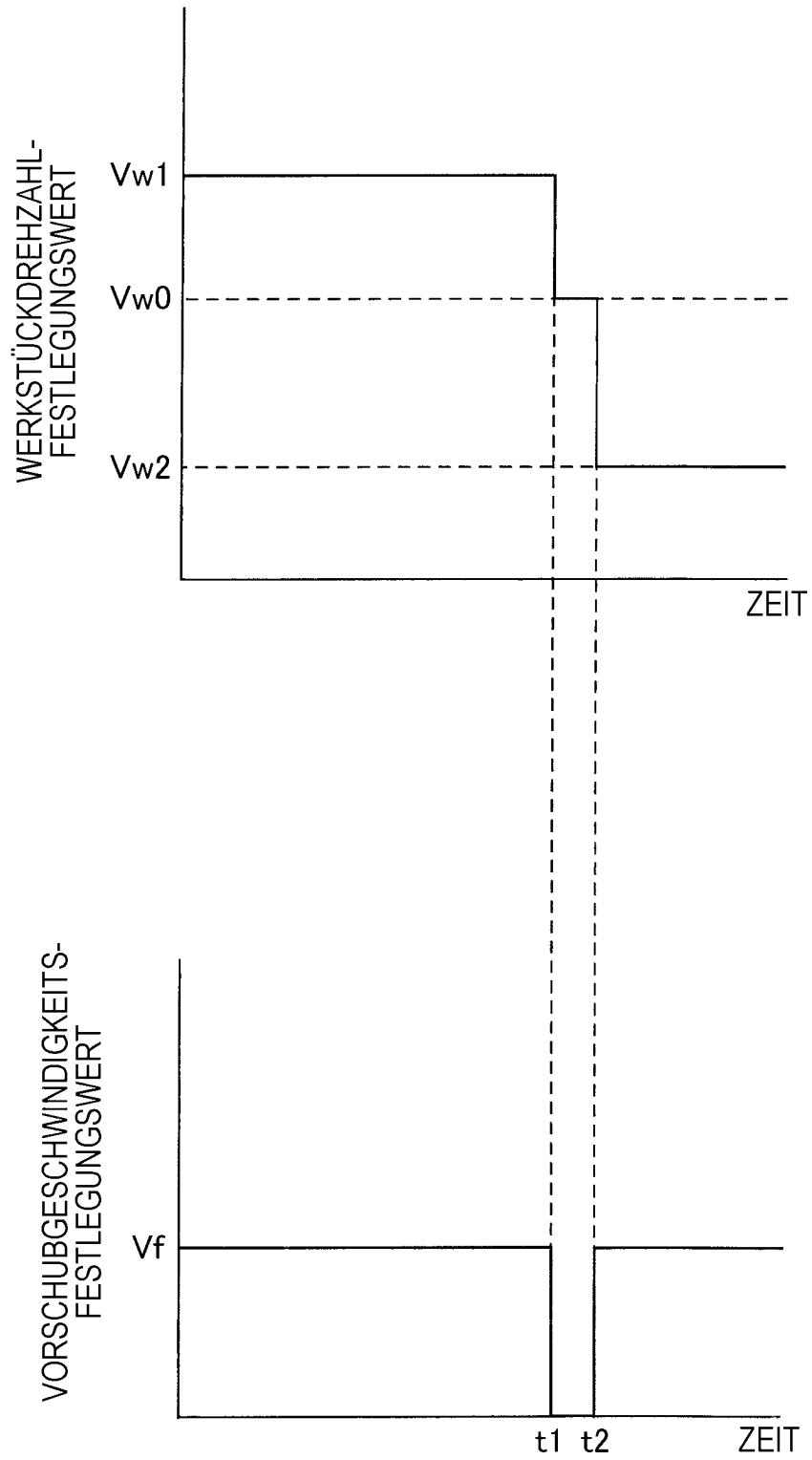
*FIG. 4A*



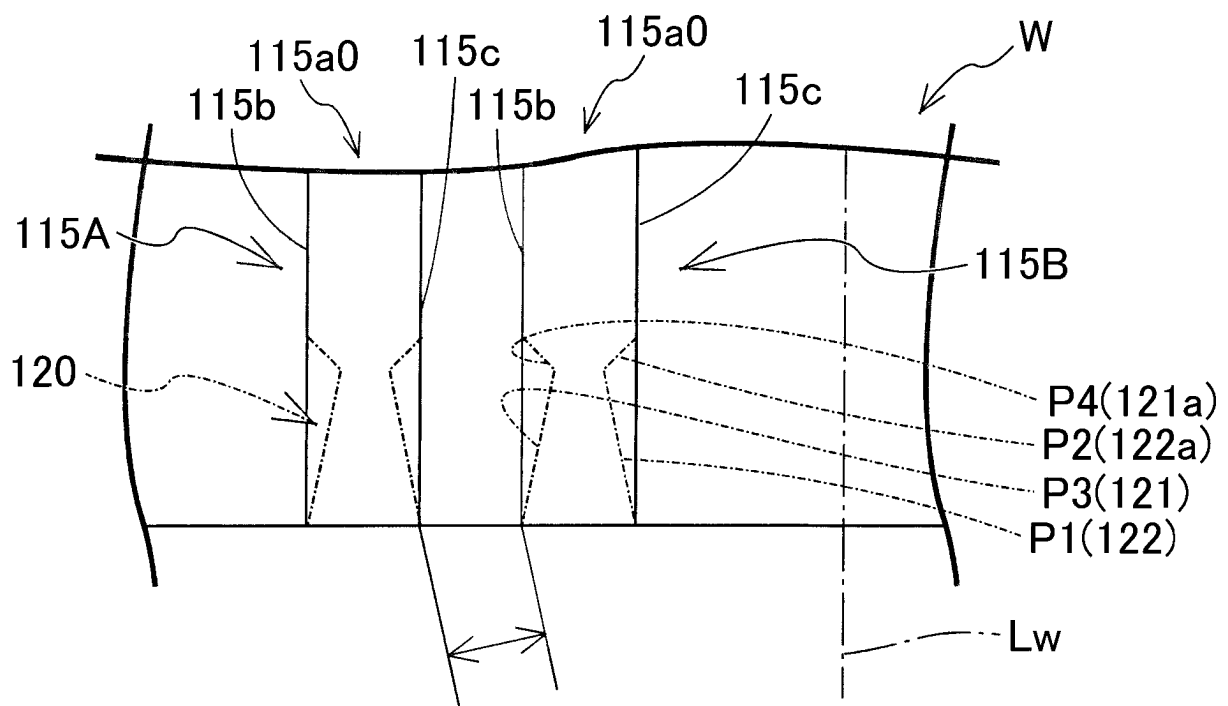
*FIG. 4B*



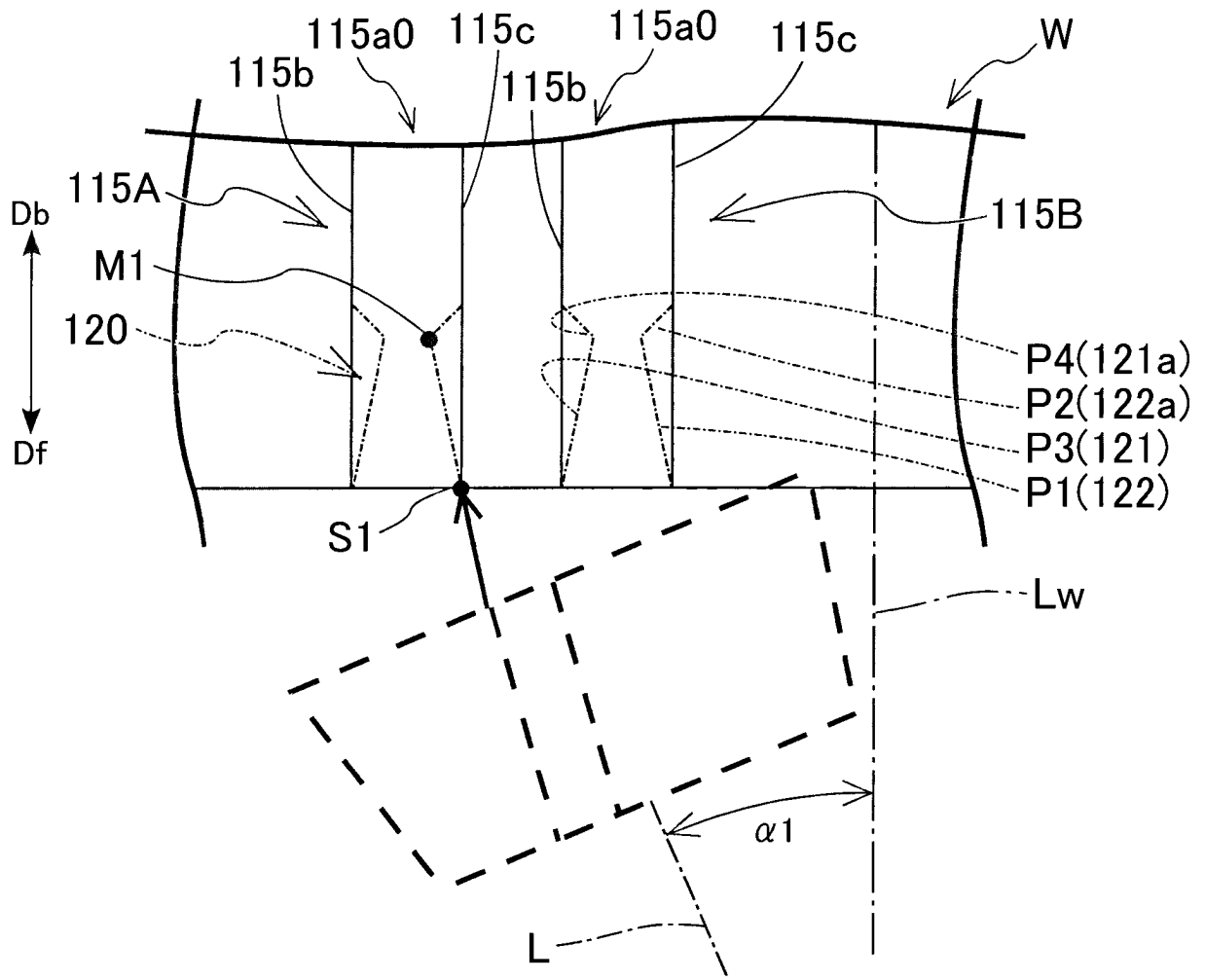
*FIG. 5*



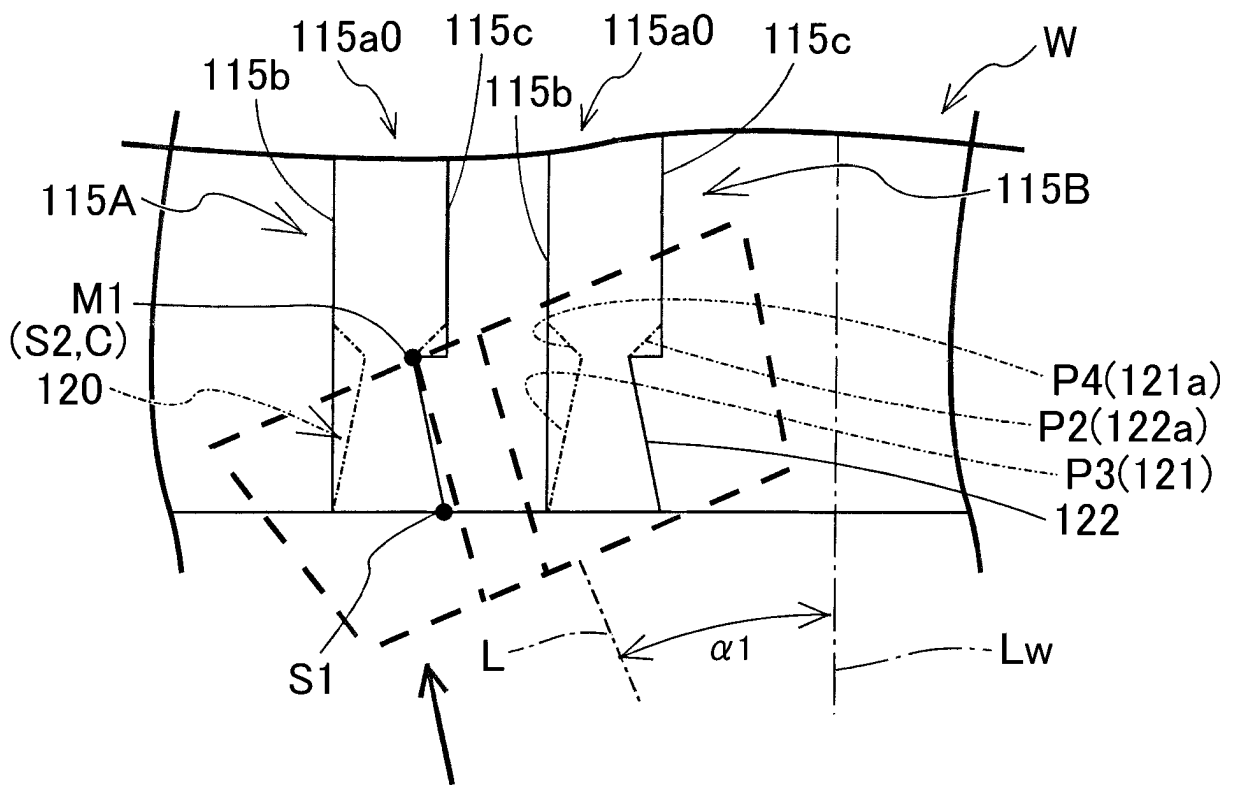
*FIG. 6*



*FIG. 7A*

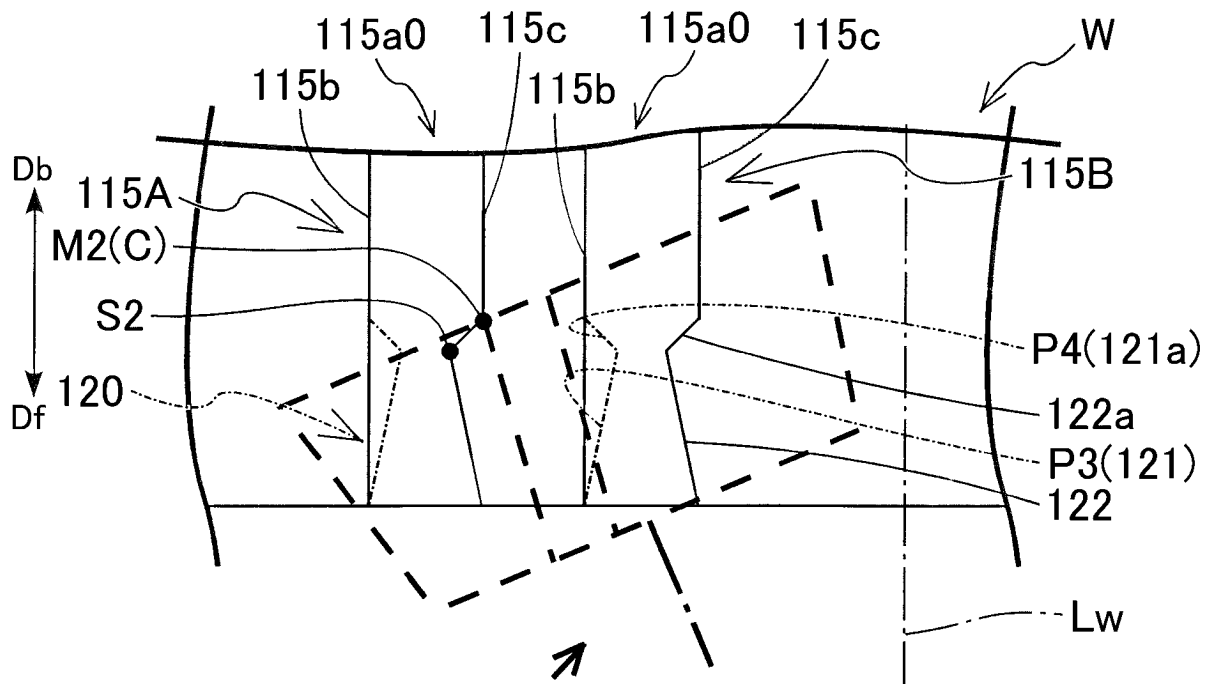


*FIG. 7B*

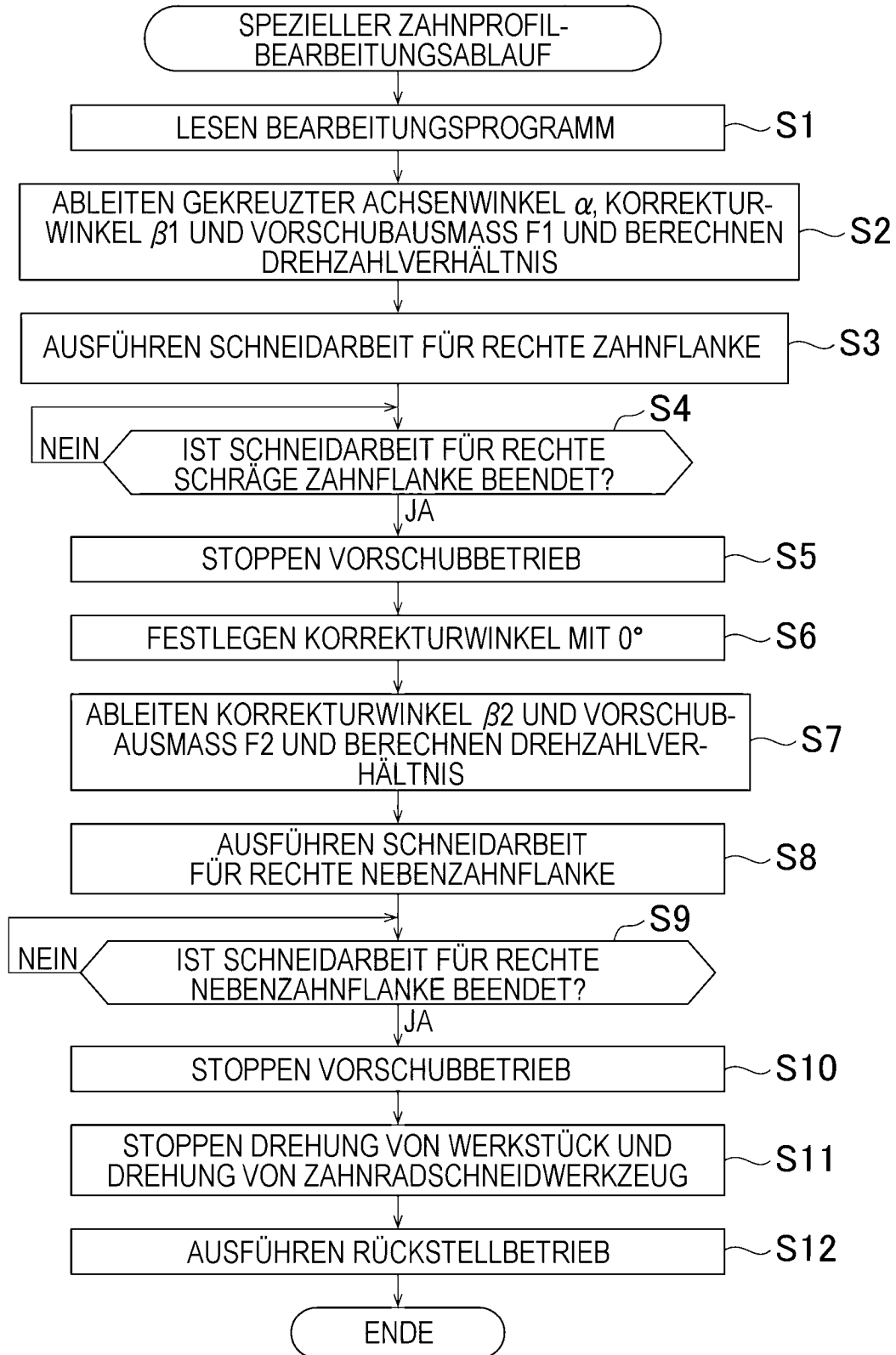




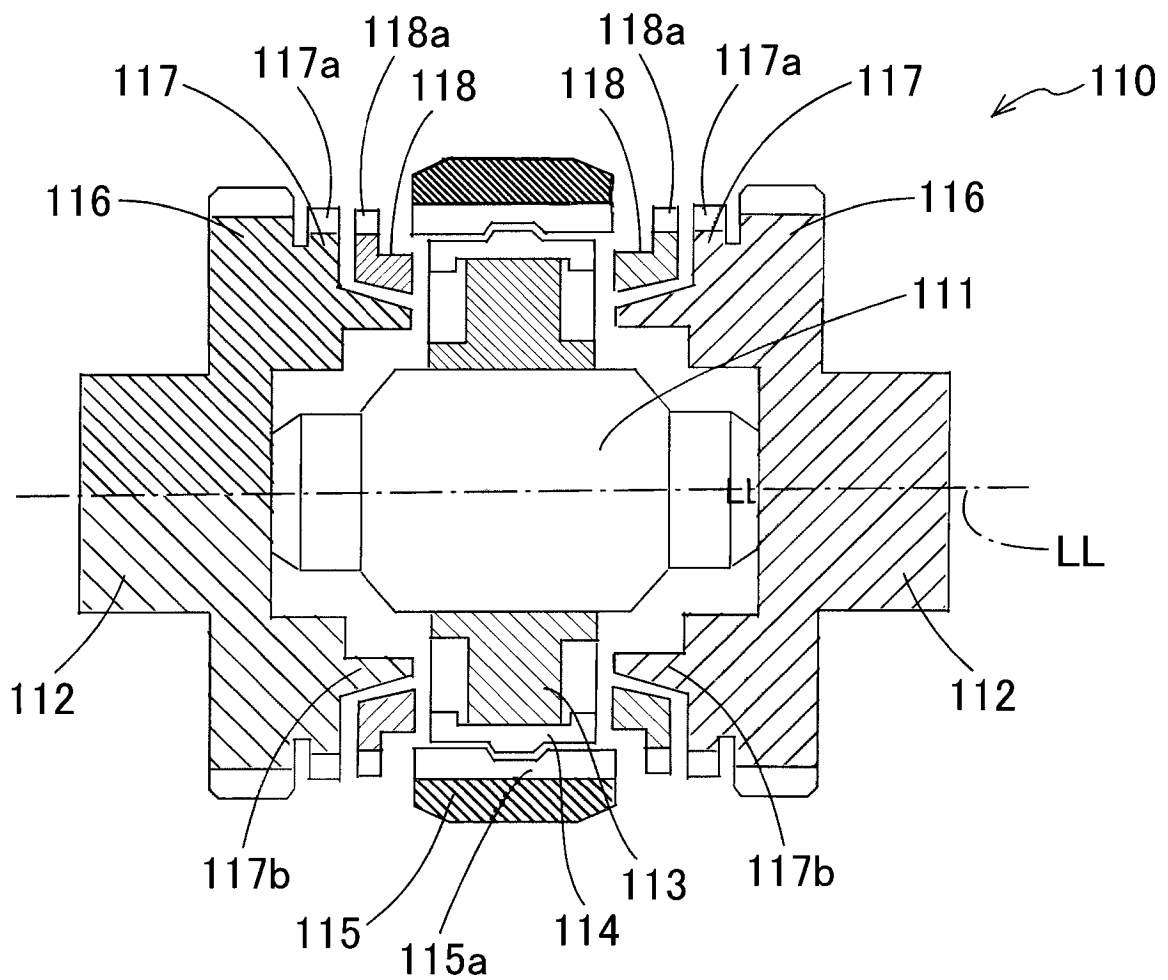
*FIG. 7C*



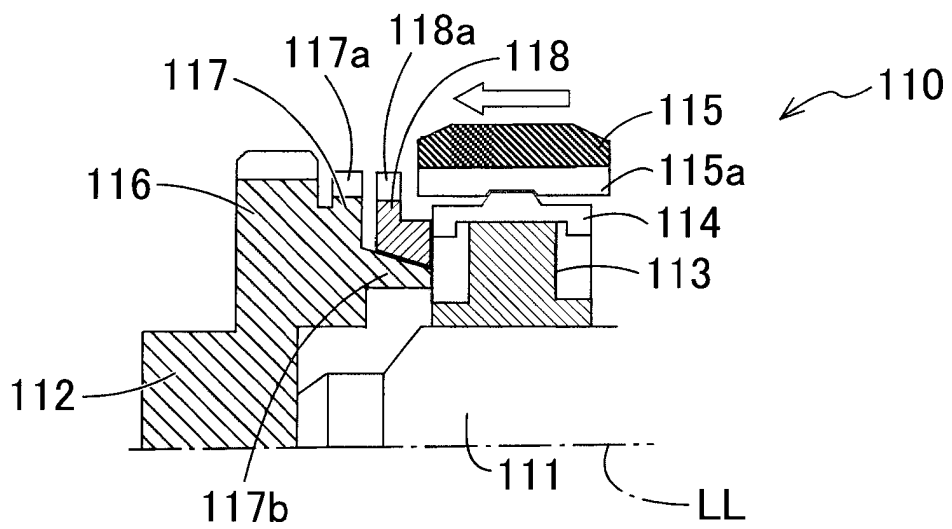
# FIG. 8



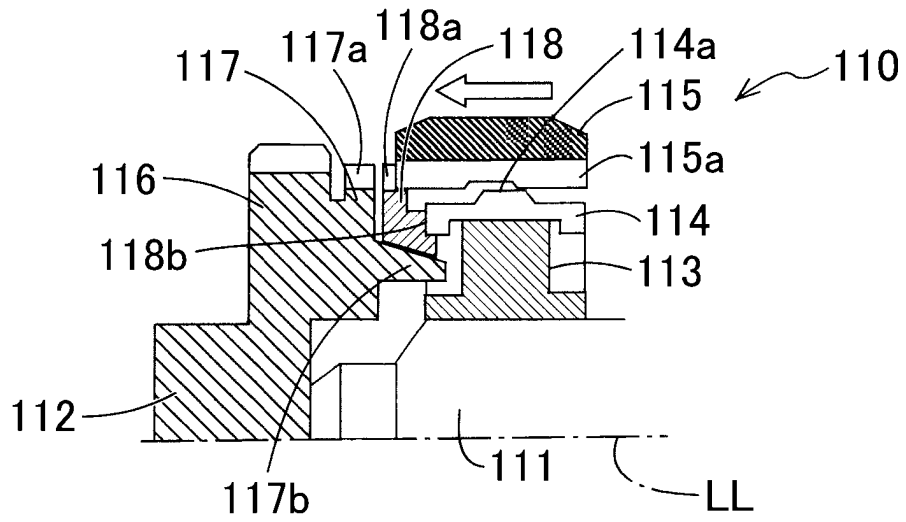
*FIG. 9*



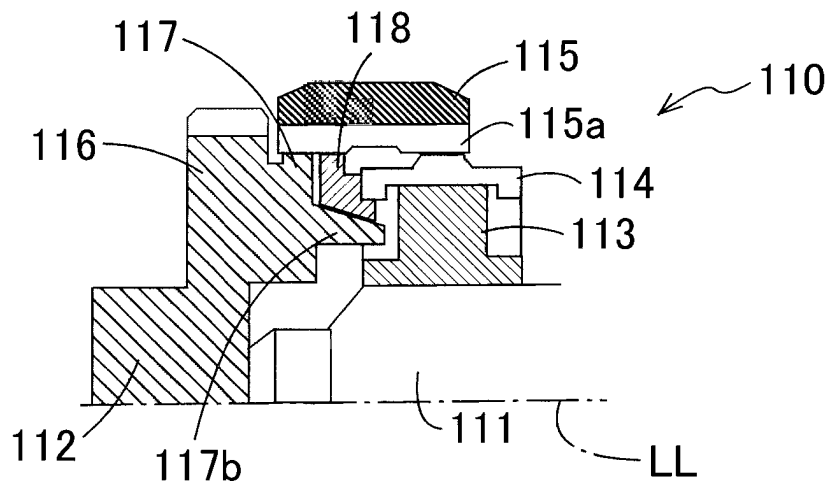
*FIG. 10A*



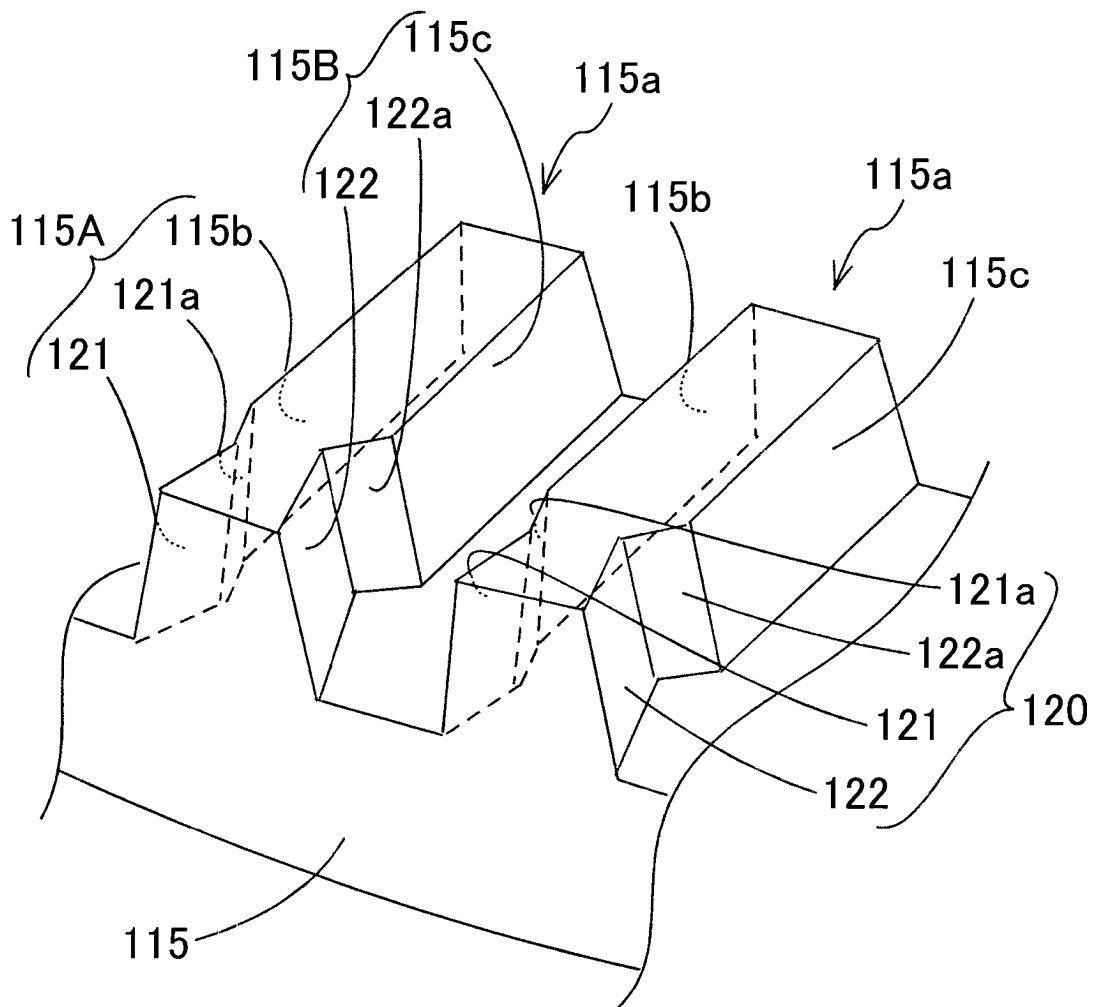
*FIG. 10B*



*FIG. 10C*



*FIG. 11*



*FIG. 12*

