



(10) **DE 10 2017 125 602 A1** 2018.05.09

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2017 125 602.4**
(22) Anmeldetag: **02.11.2017**
(43) Offenlegungstag: **09.05.2018**

(51) Int Cl.: **B23F 5/20 (2006.01)**
B23Q 15/007 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
2016-216680 04.11.2016 JP
2016-216679 04.11.2016 JP
2017-142178 21.07.2017 JP

(74) Vertreter:
TBK, 80336 München, DE

(71) Anmelder:
JTEKT CORPORATION, Osaka, JP

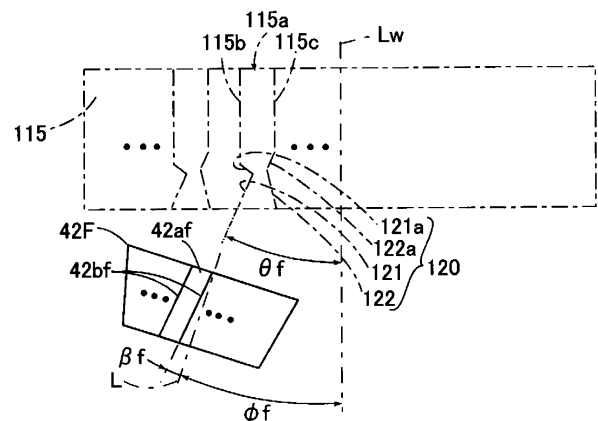
(72) Erfinder:
Zhang, Lin, Osaka, JP; Otani, Hisashi, Osaka, JP;
Nakano, Hiroyuki, Osaka, JP; Takeuchi, Kento,
Osaka, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Zahradbearbeitungsvorrichtung und Zahradbearbeitungsverfahren**

(57) Zusammenfassung: Aufgabe: Eine Zahradbearbeitungsvorrichtung und ein Zahradbearbeitungsverfahren vorzusehen, die ein Bearbeiten von Zahnflanken mit verschiedenen Torsionswinkeln mit einem hohen Genauigkeitsgrad erreichen.

Lösendes Mittel: Bei einer Zahradbearbeitungsvorrichtung (1) hat eine Seitenfläche (115A) eines Zahns (115a) eines Zahnrads eine erste Zahnflanke (115b) und eine zweite Zahnflanke (121), die einen von der ersten Zahnflanke (115b) unterschiedlichen Torsionswinkel hat, ein Schneidblatt (42af) eines Bearbeitungswerkzeugs (42F) hat Blattspuren (42bf) mit einem Torsionswinkel (β_f), der auf der Basis eines Torsionswinkels (θ_f) der zweiten Zahnflanke (121) und eines Schnittwinkels (ϕ_f) zwischen einer Drehachse (Lw) eines Werkstücks (115) und einer Drehachse (L) des Bearbeitungswerkzeugs (42F) bestimmt ist, um eine Bearbeitung der zweiten Zahnflanke (121) an der vorbereiteten ersten Zahnflanke (115b) zu gestatten.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Zahnradbearbeitungsvorrichtung und ein Zahnradbearbeitungsverfahren zum Bearbeiten von Zahnrädern durch Schneiden von Werkstücken, während ein Bearbeitungswerkzeug und ein Werkstück synchron gedreht werden.

Technischer Hintergrund

[0002] Getriebe, die in Fahrzeugen verwendet werden, sind mit einem Synchronisierungsmechanismus für einen sanften Gangschaltbetrieb versehen. Wie in **Fig. 21** dargestellt ist, hat ein Synchronisierungsmechanismus 110 einer Passfederbauart eine Hauptwelle 111, eine Hauptantriebswelle 112, eine Kupplungsnahe 113, Passfedern 114, eine Hülse 115, ein Hauptantriebszahnrad 116, ein Kupplungszahnrad 117 und einen Synchronring 118.

[0003] Die Hauptwelle 111 und die Hauptantriebswelle 112 sind koaxial angeordnet. Die Kupplungsnahe 113 ist an die Hauptwelle 111 keilgepasst, so dass die Hauptwelle 111 und die Kupplungsnahe 113 zusammen drehen. Die Passfedern 114 sind an drei Punkten an einem Außenumfang der Kupplungsnahe 113 mit einer Feder gestützt, die nicht dargestellt ist. Die Hülse 115 hat innere Zähne (Keile) 115a an einem Innenumfang von sich, und die Hülse 115 gleitet in einer Richtung einer Drehachse LL entlang der Keile, die nicht dargestellt sind und die an dem Außenumfang der Kupplungsnahe 113 ausgebildet sind, zusammen mit den Passfedern 114.

[0004] Das Hauptantriebszahnrad 116 ist auf die Hauptantriebswelle 112 gepasst, und das Hauptantriebszahnrad 116 ist einstückig mit dem Kupplungszahnrad 117 vorgesehen, das einen verjüngten Konus 117b hat, der von diesem an der Seite der Hülse 115 vorsteht. Zwischen der Hülse 115 und dem Kupplungszahnrad 117 ist der Synchronring 118 angeordnet. Äußere Zähne 117a des Kupplungszahnrads 117 und äußere Zähne 118a des Synchronrings 118 sind ausgebildet, um mit der Innenverzahnung 115a der Hülse 115 in Eingriff kommen zu können. Ein Innenumfang des Synchronrings 118 ist in einer verjüngten Form ausgebildet, die mit dem Außenumfang des verjüngten Konus 117b reibengreifen kann.

[0005] Ein Betrieb des Synchronisierungsmechanismus 110 wird nun beschrieben. Wie in **Fig. 22A** dargestellt ist, werden die Hülse 115 und die Passfedern 114 in der Richtung der Drehachse LL, die durch einen Pfeil in der Zeichnung gekennzeichnet ist, durch einen Betrieb des Schalthebels bewegt, der nicht dargestellt ist. Die Passfedern 114 drücken den Synchronring 118 in die Richtung der Drehachse LL, um den Innenumfang des Synchronrings 118 gegen den Außenumfang des verjüngten Konus 117b zu drücken. Demzufolge beginnen sich das Kupplungszahnrad 117, der Synchronring 118 und die Hülse 115 synchron zu drehen.

[0006] Wie in **Fig. 22B** dargestellt ist, werden die Passfedern 114 durch die Hülse 115 nach unten gedrückt und somit wird der Synchronring 118 weiter in die Richtung der Drehachse LL gedrückt. Demzufolge drehen sich, wenn sich der Grad des Kontakts zwischen dem Innenumfang des Synchronrings 118 und dem Außenumfang des verjüngten Konus 117b erhöht und eine starke Reibungskraft erzeugt wird, das Kupplungszahnrad 117, der Synchronring 118 und die Hülse 115 synchron. Wenn die Drehzahl des Kupplungszahnrads 117 und die Drehzahl der Hülse 115 vollständig synchronisiert sind, verschwindet die Reibungskraft zwischen dem Innenumfang des Synchronrings 118 und dem Außenumfang des verjüngten Konus 117b.

[0007] Wenn sich die Hülse 115 und die Passfedern 114 weiter in Richtung zu der Drehachse LL bewegen, wie durch einen Pfeil in der Zeichnung gekennzeichnet ist, werden die Passfedern 114 in Nuten 118b des Synchronrings 118 gepasst und stoppen. Jedoch bewegt sich die Hülse 115 über vorstehende Abschnitte 114a der Passfedern 114 hinaus, und die inneren Zähne 115a der Hülse 115 greifen mit den äußeren Zähnen 118a des Synchronrings 118 ein. Wie in **Fig. 22C** dargestellt ist, bewegt sich die Hülse 115 weiter in die Richtung der Drehachse LL, wo die inneren Zähne 115a der Hülse 115 mit den äußeren Zähnen 117a des Kupplungszahnrads 117 eingreifen. Mit diesem Vorgang wird das Gangschalten beendet.

[0008] Der Synchronisierungsmechanismus 110, wie vorstehend beschrieben ist, ist mit einem verjüngten Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitt 120 an jedem der inneren Zähne 115a der Hülse 115 und einem verjüngten Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitt 117c, der mit dem Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitt 120 verjüngungsgepasst ist, an jedem der äußeren Zähne 117a des Kupplungszahnrads 117 versehen, wie in **Fig. 23** und **Fig. 24** gezeigt ist, um zu verhindern, dass die äußeren Zähne 117a des Kupplungszahnrads 117 und die inneren Zähne 115a der Hülse 115 sich während eines Fahrens loslösen. In der folgenden

Beschreibung wird eine Seitenfläche 115A des inneren Zahns 115a der Hülse 115 an der linken Seite der Zeichnung als „linke Seitenfläche 115A“ bezeichnet, und eine Seitenfläche 115B des inneren Zahns 115a der Hülse 115 an der rechten Seite der Zeichnung wird als eine „rechte Seitenfläche 115B“ bezeichnet.

[0009] Die linke Seitenfläche 115A des inneren Zahns 115a der Hülse 115 hat eine linke Zahnflanke 115b (die einer „ersten Zahnflanke“ der Erfindung entspricht) und eine Zahnflanke 121 mit einem Torsionswinkel, der sich von der linken Zahnflanke 115b unterscheidet (nachstehend als eine linke verjüngte Zahnflanke 121 bezeichnet, die einer „zweiten Zahnflanke“ der Erfindung entspricht). Die rechte Seitenfläche 115B des inneren Zahns 115a der Hülse 115 hat eine rechte Zahnflanke 115c (die einer „dritten Zahnflanke“ oder einer „ersten Zahnflanke“ der Erfindung entspricht) und eine Zahnflanke 122 mit einem Torsionswinkel, der sich von der rechten Zahnflanke 115c unterscheidet (nachstehend als „rechte verjüngte Zahnflanke 122“ bezeichnet, die einer „vierten Zahnflanke“ oder einer „zweiten Zahnflanke“ der Erfindung entspricht).

[0010] In diesem Beispiel ist der Torsionswinkel der linken Zahnflanken 115b 0 Grad, der Torsionswinkel der linken verjüngten Zahnflanken 121 ist θ_f Grad, der Torsionswinkel der rechten Zahnflanken 115c ist 0 Grad und der Torsionswinkel der rechten verjüngten Zahnflanken 122 ist θ_r Grad. Die linke verjüngte Zahnflanke 121 und eine Zahnflanke 121a, die die linke verjüngte Zahnflanke 121 und die linke Zahnflanke 115b verbindet (nachstehend als „linke Nebenzahnflanke 121a“ bezeichnet), und die rechte verjüngte Zahnflanke 122 und eine Zahnflanke 122a, die die rechte verjüngte Zahnflanke 122 und die rechte Zahnflanke 115c verbindet (nachstehend als „rechte Nebenzahnflanke 122a“ bezeichnet), bilden den Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitt 120. Die Zahnradloslösungsverhinderung wird durch eine Verjüngungspassung zwischen den linken verjüngten Zahnflanken 121 und den Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitten 117c erreicht.

[0011] Auf diese Weise ist der Aufbau der inneren Zähne 115a der Hülse 115 kompliziert, und die Hülse 115 ist eine Komponente, die eine Massenproduktion erfordert. Deshalb werden die inneren Zähne 115a der Hülse 115 im Allgemeinen durch Räumen, Zahnradformen oder dergleichen ausgebildet und die Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitte 120 werden durch Rollen ausgebildet (siehe JP-UM-6-61340, JP-A-2005-152940).

[0012] Um die vorstehend beschriebene Zahnradloslösungsverhinderung in dem Synchronisierungsmechanismus 110 zu gewährleisten, müssen die Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitte 120 der inneren Zähne 115a der Hülse 115 mit einem hohen Genauigkeitsgrad bearbeitet werden. Da jedoch die Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitte 120 durch Rollen ausgebildet werden, was ein plastisches Formen ist, gibt es eine Neigung dahingehend, dass die Bearbeitungsgenauigkeit verringert ist.

Zusammenfassung der Erfindung

Durch die Erfindung zu lösende Probleme

[0013] In Anbetracht dieser Umstände ist es eine Aufgabe der Erfindung, eine Zahnradbearbeitungsvorrichtung und ein Zahnradbearbeitungsverfahren vorzusehen, die eine Bearbeitung von Zahnflanken mit verschiedenen Torsionswinkeln mit einem hohen Genauigkeitsgrad erreichen.

Mittel zum Lösen des Problems

[0014] Eine Zahnradbearbeitungsvorrichtung der Erfindung ist eine Zahnradbearbeitungsvorrichtung, die gestaltet ist, um ein Bearbeitungswerkzeug mit einer Drehachse zu verwenden, die mit Bezug auf eine Drehachse eines Werkstücks geneigt ist, und um ein Zahnrad durch Voranbewegen des Bearbeitungswerkzeugs in der Richtung der Drehachse des Werkstücks relativ mit Bezug auf das Werkstück, während das Bearbeitungswerkzeug und das Werkstück synchron gedreht werden, zu bearbeiten, wobei eine Seitenfläche eines Zahnradzahns eine erste Zahnflanke und eine zweite Zahnflanke hat, die einen von der ersten Zahnflanke unterschiedlichen Torsionswinkel hat, wobei eine Blattspur des Schneidblatts des Bearbeitungswerkzeugs einen Torsionswinkel hat, der auf der Basis eines Torsionswinkels der zweiten Zahnflanke und eines Schnittwinkels zwischen der Drehachse des Werkstücks und der Drehachse des Bearbeitungswerkzeugs bestimmt ist, um eine Bearbeitung der zweiten Zahnflanke an der vorbereiteten ersten Zahnflanke zu gestatten.

[0015] Im Stand der Technik wird die zweite Zahnflanke des Zahnradzahns, der die erste Zahnflanke und die zweite Zahnflanke mit verschiedenen Torsionswinkeln hat, an der vorbereiteten ersten Zahnflanke durch plastisches Formen ausgebildet. Deshalb besteht ein Problem einer Verringerung einer Bearbeitungsgenauigkeit der zweiten Zahnflanke. Jedoch wird bei dieser Zahnradbearbeitungsvorrichtung die zweite Zahnflanke an der ersten Zahnflanke durch Schneiden ausgebildet, wodurch ein hoher Genauigkeitsgrad erreicht wird.

[0016] Ein Zahnradbearbeitungsverfahren der Erfindung ist ein Zahnradbearbeitungsverfahren zum Bearbeiten eines Zahnrads mit einem Bearbeitungswerkzeug, wobei das Zahnrad einen Zahn hat, der eine Seitenfläche mit einer ersten Zahnflanke und einer zweiten Zahnflanke hat, die einen von der ersten Zahnflanke unterschiedlichen Torsionswinkel hat, wobei das Bearbeitungswerkzeug ein Schneidblatt mit einer Blattspur hat, die einen Torsionswinkel hat, der auf der Basis eines Torsionswinkels der zweiten Zahnflanke und eines Schnittwinkels zwischen der Drehachse des Werkstücks und der Drehachse des Bearbeitungswerkzeugs bestimmt ist, um zu gestatten, dass die zweite Zahnflanke an der vorbearbeiteten ersten Zahnflanke bearbeitet wird, wobei das Zahnradbearbeitungsverfahren folgende Schritte hat: einen Schritt des Neigens der Drehachse des Bearbeitungswerkzeugs mit Bezug auf die Drehachse des Werkstücks und einen Schritt des Bearbeitens der zweiten Zahnflanke durch Voranbewegen des Bearbeitungswerkzeugs mit Bezug auf das Werkstück in der Richtung der Drehachse, während es synchron mit dem Werkstück gedreht wird. Demzufolge werden die gleichen vorteilhaften Effekte wie bei der vorstehend beschriebenen Zahnradbearbeitungsvorrichtung erreicht.

Figurenliste

Fig. 1 ist eine Zeichnung, die eine allgemeine Gestaltung einer Zahnradbearbeitungsvorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt;

Fig. 2 ist ein Flussdiagramm zum Beschreiben eines Werkzeugentwurfsprozesses, der durch ein Steuergerät in **Fig. 1** durchzuführen ist, für ein Bearbeitungswerkzeug für eine verjüngte Zahnflanke;

Fig. 3 ist ein Flussdiagramm zum Beschreiben eines Werkzeugzustandsfestlegungsprozesses, der durch das Steuergerät in **Fig. 1** durchzuführen ist;

Fig. 4 ist ein Flussdiagramm zum Beschreiben eines Bearbeitungssteuerungsprozesses mit dem Bearbeitungswerkzeug für eine verjüngte Zahnflanke, der durch das Steuergerät in **Fig. 1** durchzuführen ist;

Fig. 5A ist eine Zeichnung, die eine schematische Gestaltung des Bearbeitungswerkzeugs aus Sicht in einer Richtung einer Drehachse von einer Werkzeuwendflächen­seite darstellt;

Fig. 5B ist eine Teilquerschnittsansicht, die das Bearbeitungswerkzeug in **Fig. 5A** aus Sicht in einer Radialrichtung darstellt;

Fig. 5C ist eine vergrößerte Ansicht eines Schneidblatts des Bearbeitungswerkzeugs in **Fig. 5B**;

Fig. 6A ist eine Zeichnung, die eine dimensionale Beziehung zwischen dem Bearbeitungswerkzeug und einem Werkstück darstellt, wenn das Bearbeitungswerkzeug für eine verjüngte Zahnflanke entworfen wird;

Fig. 6B ist eine Zeichnung, die eine positionale Beziehung zwischen dem Bearbeitungswerkzeug und dem Werkstück darstellt, wenn das Bearbeitungswerkzeug für eine verjüngte Zahnflanke entworfen wird;

Fig. 7 ist eine Zeichnung, die jeweilige Abschnitte des Bearbeitungswerkzeugs darstellt, die verwendet werden, wenn eine Schneidkantenbreite und eine Blatt­dicke des Bearbeitungswerkzeugs erhalten werden;

Fig. 8A ist eine Zeichnung, die eine schematische Gestaltung des Bearbeitungswerkzeugs zum Bearbeiten einer linken verjüngten Zahnflanke aus Sicht in der Radialrichtung darstellt;

Fig. 8B ist eine Zeichnung, die eine schematische Gestaltung des Bearbeitungswerkzeugs zum Bearbeiten einer rechten verjüngten Zahnflanke in der Radialrichtung darstellt;

Fig. 9A ist eine Zeichnung, die eine positionale Beziehung zwischen dem Bearbeitungswerkzeug und dem Werkstück darstellt, wenn die Werkzeugposition des Bearbeitungswerkzeugs in der Richtung der Drehachse geändert wird;

Fig. 9B ist eine erste Zeichnung, die einen Bearbeitungszustand darstellt, wenn eine axiale Position geändert ist;

Fig. 9C ist eine zweite Zeichnung, die einen Bearbeitungszustand darstellt, wenn die axiale Position geändert ist;

Fig. 9D ist eine dritte Zeichnung, die einen Bearbeitungszustand darstellt, wenn die axiale Position geändert ist;

Fig. 10A ist eine Zeichnung, die eine positionale Beziehung zwischen dem Bearbeitungswerkzeug und dem Werkstück darstellt, wenn der Schnittwinkel geändert wird, der eine Neigung der Drehachse des Bearbeitungswerkzeugs mit Bezug auf eine Drehachse des Werkstücks anzeigt;

- Fig. 10B** ist eine erste Zeichnung, die einen Bearbeitungszustand darstellt, wenn der Schnittwinkel geändert ist;
- Fig. 10C** ist eine zweite Zeichnung, die einen Bearbeitungszustand darstellt, wenn der Schnittwinkel geändert ist;
- Fig. 10D** ist eine dritte Zeichnung, die einen Bearbeitungszustand darstellt, wenn der Schnittwinkel geändert ist;
- Fig. 11A** ist eine Zeichnung, die eine positionale Beziehung zwischen dem Bearbeitungswerkzeug und dem Werkstück darstellt, wenn die Position des Bearbeitungswerkzeugs in der Richtung der Drehachse und der Schnittwinkel geändert werden;
- Fig. 11B** ist eine erste Zeichnung, die einen Bearbeitungszustand darstellt, wenn die axiale Position und der Schnittwinkel geändert sind;
- Fig. 11C** ist eine zweite Zeichnung, die einen Bearbeitungszustand darstellt, wenn die axiale Position und der Schnittwinkel geändert sind;
- Fig. 12A** ist eine Zeichnung, die eine Position des Bearbeitungswerkzeugs vor einem Bearbeiten der linken verjüngten Zahnflanke aus Sicht in der Radialrichtung darstellt;
- Fig. 12B** ist eine Zeichnung, die eine Position des Bearbeitungswerkzeugs aus Sicht in der Radialrichtung darstellt, wenn die linke verjüngte Zahnflanke bearbeitet wird;
- Fig. 12C** ist eine Zeichnung, die eine Position des Bearbeitungswerkzeugs, nachdem die linke verjüngte Zahnflanke bearbeitet worden ist, aus Sicht in der Radialrichtung darstellt;
- Fig. 13** ist ein Flussdiagramm zum Beschreiben eines Werkzeugentwurfsprozesses, der durch das Steuergerät in **Fig. 1** durchzuführen ist, für ein Bearbeitungswerkzeug für eine verjüngte Zahnflanke gemäß einem alternativen Beispiel;
- Fig. 14A** ist eine Zeichnung, die eine dimensionale Beziehung zwischen dem Bearbeitungswerkzeug und dem Werkstück darstellt, wenn eine linke Blattfläche des Bearbeitungswerkzeugs für eine verjüngte Zahnflanke gemäß dem alternativen Beispiel entworfen wird;
- Fig. 14B** ist eine Zeichnung, die eine positionale Beziehung zwischen dem Bearbeitungswerkzeug und dem Werkstück darstellt, wenn das Bearbeitungswerkzeug für eine verjüngte Zahnflanke gemäß dem alternativen Beispiel entworfen wird;
- Fig. 14C** ist eine Zeichnung, die eine dimensionale Beziehung zwischen dem Bearbeitungswerkzeug und dem Werkstück darstellt, wenn eine rechte Blattfläche des Bearbeitungswerkzeugs für eine verjüngte Zahnflanke gemäß dem alternativen Beispiel entworfen wird;
- Fig. 15** ist ein Flussdiagramm zum Beschreiben eines Werkzeugentwurfsprozesses, der durch ein Steuergerät in **Fig. 1** durchzuführen ist, für ein Bearbeitungswerkzeug für eine gefaste Zahnflanke;
- Fig. 16A** ist eine Zeichnung, die eine dimensionale Beziehung zwischen dem Bearbeitungswerkzeug und dem Werkstück darstellt, wenn das Bearbeitungswerkzeug für eine gefaste Zahnflanke entworfen wird;
- Fig. 16B** ist eine Zeichnung, die eine positionale Beziehung zwischen dem Bearbeitungswerkzeug und dem Werkstück darstellt, wenn das Bearbeitungswerkzeug für eine gefaste Zahnflanke entworfen wird;
- Fig. 17A** ist eine Zeichnung, die eine schematische Gestaltung eines Bearbeitungswerkzeugs für eine linke gefaste Zahnflanke aus Sicht in der Radialrichtung darstellt;
- Fig. 17B** ist eine Zeichnung, die eine schematische Gestaltung eines Bearbeitungswerkzeugs für eine rechte gefaste Zahnflanke aus Sicht in der Radialrichtung darstellt;
- Fig. 18** ist eine Zeichnung, die ein Schneidblatt des Bearbeitungswerkzeugs für eine rechte gefaste Zahnflanke aus Sicht in einer Axialrichtung darstellt;
- Fig. 19A** ist eine Zeichnung, die eine dimensionale Beziehung zwischen dem Bearbeitungswerkzeug und dem Werkstück darstellt, wenn eine linke Blattfläche eines Bearbeitungswerkzeugs für eine gefaste Zahnflanke gemäß einem alternativen Beispiel entworfen wird;
- Fig. 19B** ist eine Zeichnung, die eine positionale Beziehung zwischen dem Bearbeitungswerkzeug und dem Werkstück darstellt, wenn das Bearbeitungswerkzeug für eine gefaste Zahnflanke gemäß dem alternativen Beispiel entworfen wird;

Fig. 19C ist eine Zeichnung, die eine dimensionale Beziehung zwischen dem Bearbeitungswerkzeug und dem Werkstück darstellt, wenn eine rechte Blattfläche des Bearbeitungswerkzeugs für die gefaste Zahnflanke gemäß dem alternativen Beispiel entworfen wird;

Fig. 20 ist eine perspektivische Ansicht, die eine Graterzeugung an einer Hülse als ein Werkstück darstellt;

Fig. 21 ist eine Querschnittsansicht, die einen Synchronisierungsmechanismus mit der Hülse als ein Werkstück darstellt;

Fig. 22A ist eine Querschnittsansicht, die einen Zustand des Synchronisierungsmechanismus in **Fig. 21** vor einem Beginn eines Betriebs darstellt;

Fig. 22B ist eine Querschnittsansicht, die einen Zustand des Synchronisierungsmechanismus in **Fig. 21** während eines Betriebs darstellt;

Fig. 22C ist eine Querschnittsansicht, die einen Zustand des Synchronisierungsmechanismus in **Fig. 21** nach einer Beendigung des Betriebs darstellt;

Fig. 23 ist eine perspektivische Ansicht, die einen Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitt der Hülse als ein Werkstück darstellt;

Fig. 24 ist eine Zeichnung des Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitts der Hülse in **Fig. 23** aus Sicht in der Radialrichtung;

Fig. 25 ist eine perspektivische Ansicht, die einen Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitt gemäß einer ersten Modifikation der Hülse als ein Werkstück darstellt;

Fig. 26 ist eine Zeichnung des Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitts der Hülse in **Fig. 25** aus Sicht in der Radialrichtung;

Fig. 27 ist ein Flussdiagramm zum Beschreiben eines durch das Steuergerät in **Fig. 1** durchzuführenden Werkzeugentwurfsprozesses für ein Bearbeitungswerkzeug für eine verjüngte Zahnflanke zum Bearbeiten des Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitts in **Fig. 38**;

Fig. 28A ist ein Flussdiagramm zum Beschreiben eines durch das Steuergerät in **Fig. 1** durchzuführenden Bearbeitungssteuerungsprozesses mit dem Bearbeitungswerkzeug für eine verjüngte Zahnflanke zum Bearbeiten des Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitts in **Fig. 38**;

Fig. 28B ist ein Flussdiagramm, das von dem Ablauf in **Fig. 28A** fortgeführt ist, zum Beschreiben des durch das Steuergerät in **Fig. 1** durchzuführenden Bearbeitungssteuerungsprozesses mit dem Bearbeitungswerkzeug für eine verjüngte Zahnflanke zum Bearbeiten des Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitts in **Fig. 38**;

Fig. 29A ist eine Zeichnung einer schematischen Gestaltung des Bearbeitungswerkzeugs für eine verjüngte Zahnflanke zum Bearbeiten des Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitts in **Fig. 38** aus Sicht in der Richtung der Drehachse von einer Werkzeugendflächenseite;

Fig. 29B ist eine Teilquerschnittsansicht, die die schematische Gestaltung des Bearbeitungswerkzeugs für eine verjüngte Zahnflanke in **Fig. 29A** aus Sicht in der Radialrichtung darstellt;

Fig. 29C ist eine vergrößerte Ansicht eines Schneidblatts des Bearbeitungswerkzeugs für eine verjüngte Zahnflanke in **Fig. 29B**;

Fig. 30 ist eine perspektivische Ansicht, die einen Bund darstellt, der das Bearbeitungswerkzeug für eine verjüngte Zahnflanke in **Fig. 29B** bildet;

Fig. 31 ist eine Zeichnung, die einen Zustand darstellt, in dem das Bearbeitungswerkzeug für eine verjüngte Zahnflanke in **Fig. 29B** an einem Werkzeughalter und einer Drehhauptspindel montiert ist;

Fig. 32 ist eine Zeichnung, die eine schematische Gestaltung eines ersten Werkzeugs (eines zweiten Werkzeugs) des Bearbeitungswerkzeugs für eine verjüngte Zahnflanke in **Fig. 29B** aus Sicht in der Radialrichtung darstellt;

Fig. 33A ist eine erste Zeichnung, die eine dimensionale Beziehung zwischen dem Bearbeitungswerkzeug für eine verjüngte Zahnflanke und dem Werkstück darstellt, wenn das erste Werkzeug des Bearbeitungswerkzeugs für eine verjüngte Zahnflanke in **Fig. 29B** entworfen wird;

Fig. 33B ist eine erste Zeichnung, die eine positionale Beziehung zwischen dem Bearbeitungswerkzeug für eine verjüngte Zahnflanke und dem Werkstück darstellt, wenn das erste Werkzeug des Bearbeitungswerkzeugs für eine verjüngte Zahnflanke in **Fig. 29B** entworfen wird;

Fig. 33C ist eine zweite Zeichnung, die eine dimensionale Beziehung zwischen dem Bearbeitungswerkzeug für eine verjüngte Zahnflanke und dem Werkstück darstellt, wenn das erste Werkzeug des Bearbeitungswerkzeugs für eine verjüngte Zahnflanke in **Fig. 29B** entworfen wird;

Fig. 33D ist eine zweite Zeichnung, die eine positionale Beziehung zwischen dem Werkzeug für eine verjüngte Zahnflanke und dem Werkstück darstellt, wenn das erste Bearbeitungswerkzeug des Bearbeitungswerkzeugs für eine verjüngte Zahnflanke in **Fig. 29B** entworfen wird;

Fig. 34A ist eine Zeichnung, die eine Position des Bearbeitungswerkzeugs für eine verjüngte Zahnflanke in **Fig. 29B** vor einem Bearbeiten der sich an der anderen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke aus Sicht in der Radialrichtung darstellt;

Fig. 34B ist eine Zeichnung, die eine Position des Bearbeitungswerkzeugs für eine verjüngte Zahnflanke in **Fig. 29B**, wenn die sich an der anderen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke bearbeitet wird, aus Sicht in der Radialrichtung darstellt;

Fig. 34C ist eine Zeichnung, die eine Position des Bearbeitungswerkzeugs für eine verjüngte Zahnflanke in **Fig. 29B**, nachdem die sich an der anderen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke bearbeitet worden ist, aus Sicht in der Radialrichtung darstellt;

Fig. 35A ist eine zweite Zeichnung, die eine dimensionale Beziehung zwischen dem Bearbeitungswerkzeug für eine verjüngte Zahnflanke und dem Werkstück darstellt, wenn das zweite Werkzeug des Bearbeitungswerkzeugs für eine verjüngte Zahnflanke in **Fig. 29B** entworfen wird;

Fig. 35B ist eine zweite Zeichnung, die eine positionale Beziehung zwischen dem Bearbeitungswerkzeug für eine verjüngte Zahnflanke und dem Werkstück darstellt, wenn das zweite Werkzeug des Bearbeitungswerkzeugs für eine verjüngte Zahnflanke in **Fig. 29B** entworfen wird;

Fig. 36A ist eine Zeichnung, die eine Position des Bearbeitungswerkzeugs für eine verjüngte Zahnflanke in **Fig. 29B** vor Bearbeiten einer sich an der einen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke aus Sicht in der Radialrichtung darstellt;

Fig. 36B ist eine Zeichnung, die eine Position des Bearbeitungswerkzeugs für eine verjüngte Zahnflanke in **Fig. 29B**, wenn die sich an der einen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke bearbeitet wird, aus Sicht in der Radialrichtung darstellt;

Fig. 36C ist eine Zeichnung, die eine Position des Bearbeitungswerkzeugs für eine verjüngte Zahnflanke in **Fig. 29B**, nachdem die sich an der einen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke bearbeitet worden ist, aus Sicht in der Radialrichtung darstellt;

Fig. 37 ist eine Querschnittsansicht, die einen Synchronisierungsmechanismus mit der Hülse gemäß einer zweiten Modifikation als ein Werkstück darstellt;

Fig. 38 ist eine perspektivische Ansicht, die einen Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitt der Hülse in **Fig. 37** darstellt; und

Fig. 39 ist eine Zeichnung des Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitts der Hülse in **Fig. 37** aus Sicht in der Radialrichtung.

Formen zum Ausführen der Erfindung

Mechanische Gestaltung der Zahnradbearbeitungsvorrichtung

[0017] In dieser Ausführungsform wird ein Fünf-Achsen-Bearbeitungszentrum als ein Beispiel der Zahnradbearbeitungsvorrichtung beispielhaft dargestellt und wird mit Bezug auf **Fig. 1** beschrieben. Mit anderen Worten gesagt ist die Zahnradbearbeitungsvorrichtung eine Vorrichtung mit Antriebsachsen, die drei geradlinige Achsen (X-, Y- und Z-Achse), die senkrecht zueinander sind, und zwei Drehachsen (eine A-Achse parallel zu der X-Achse und eine C-Achse senkrecht zu der A-Achse) umfassen.

[0018] Hier werden, wie im Kapitel Technischer Hintergrund beschrieben ist, Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitte 120 durch Rollen, das plastisches Formen ist, an den inneren Zähnen **115a** der Hülse **115** ausgebildet, die durch Räumen oder Zahnradformen ausgebildet ist. Deshalb gibt es eine Neigung dahingehend, dass eine Bearbeitungsgenauigkeit verringert ist. Deshalb bildet die vorstehend beschriebene Zahnradbearbeitungsvorrichtung **1** zuerst die inneren Zähne **115a** der Hülse **115** durch Räumen, Zahnradformen oder dergleichen aus und bildet dann die Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitte 120 an den inneren Zähnen

115a der Hülse **115** jeweils durch Schneiden mittels eines Bearbeitungswerkzeugs **42** aus, das später beschrieben wird.

[0019] Mit anderen Worten gesagt werden die Zahnradlösungsverhinderungsabschnitte 120 durch synchrones Drehen der Hülse **115**, an der die inneren Zähne **115a** ausgebildet sind, und des Bearbeitungswerkzeugs **42** und Schneiden der Hülse **115**, während das Bearbeitungswerkzeug **42** in eine Richtung einer Drehachse der Hülse **115** voranbewegt wird, ausgebildet. Demzufolge werden die Zahnradlösungsverhinderungsabschnitte 120 mit einem hohen Genauigkeitsgrad bearbeitet.

[0020] Wie in **Fig. 1** dargestellt ist, hat die Zahnradbearbeitungsvorrichtung **1** ein Bett 10, eine Säule 20, einen Sattel 30, eine Drehhauptspindel 40, einen Tisch 50, einen Neigungstisch 60, einen Drehtisch 70, einen Werkstückhalter 80 und ein Steuergerät **100**. Obwohl die Darstellung weggelassen ist, ist eine bekannte automatische Werkzeugaustauschvorrichtung benachbart zu dem Bett 10 vorgesehen.

[0021] Das Bett 10 ist in einer im Wesentlichen rechteckigen Form ausgebildet und ist auf einem Boden angeordnet. Eine X-Achsenkugelgewindespindel, die nicht dargestellt ist, zum Antreiben der Säule 20 in einer Richtung parallel zu der X-Achse, ist an einer oberen Fläche des Betts 10 angeordnet. Darüber hinaus ist ein X-Achsenmotor 11c, der gestaltet ist, um die X-Achsenkugelgewindespindel für eine Drehung anzutreiben, an dem Bett 10 angeordnet.

[0022] Eine Y-Achsenkugelgewindespindel, die nicht dargestellt ist, zum Antreiben des Sattels 30 in einer Richtung parallel zu der Y-Achse, ist an einer Seitenfläche (Gleitfläche) 20a der Säule 20 parallel zu der Y-Achse angeordnet. Ein Y-Achsenmotor 23c, der gestaltet ist, um die Y-Achsenkugelgewindespindel für eine Drehung anzutreiben, ist in der Säule 20 angeordnet.

[0023] Die Drehhauptspindel 40 stützt das Bearbeitungswerkzeug **42**, ist in dem Sattel 30 drehbar gestützt und wird durch einen Spindelmotor 41 gedreht, der in dem Sattel 30 untergebracht ist. Das Bearbeitungswerkzeug **42** ist an dem Werkzeughalter gehalten, der nicht dargestellt ist, ist an einem distalen Ende der Drehhauptspindel 40 fixiert und wird in Verbindung mit der Drehung der Drehhauptspindel 40 gedreht. Das Bearbeitungswerkzeug **42** bewegt sich mit Bezug auf das Bett 10 in einer Richtung parallel zu der X-Achse und in der Richtung parallel zu der Y-Achse in Verbindung mit den Bewegungen der Säule 20 und des Sattels 30. Eine detaillierte Beschreibung des Bearbeitungswerkzeugs **42** wird später gegeben.

[0024] Eine Z-Achsenkugelgewindespindel, die nicht dargestellt ist, zum Antreiben des Tisches 50 in einer Richtung parallel zu der Z-Achse, ist an der oberen Fläche des Betts 10 angeordnet. Ein Z-Achsenmotor 12c, der gestaltet ist, um die Z-Achsenkugelgewindespindel für eine Drehung anzutreiben, ist an dem Bett 10 angeordnet.

[0025] Der Tisch 50 ist mit Neigungstischstützabschnitten 63 versehen, die gestaltet sind, um den Neigungstisch 60 an einer oberen Fläche von diesem zu stützen. Die Neigungstischstützabschnitte 63 sind mit dem Neigungstisch 60 vorgesehen, um um eine Achse parallel zu der A-Achse drehbar (schwenkbar) zu sein. Der Neigungstisch 60 wird durch einen A-Achsenmotor 61, der in dem Tisch 50 untergebracht ist, gedreht (geschwenkt).

[0026] Der Neigungstisch 60 ist mit dem Drehtisch 70 vorgesehen, um um eine Achse drehen zu können, die parallel zu der C-Achse ist. Der Werkstückhalter 80, der gestaltet ist, um die Hülse **115** als ein Werkstück zu halten, ist an dem Drehtisch 70 montiert. Der Drehtisch 70 wird durch einen C-Achsenmotor 62 zusammen mit der Hülse **115** und dem Werkstückhalter 80 gedreht.

[0027] Das Steuergerät **100** hat einen Bearbeitungssteuerungsteil **101**, einen Werkzeugentwurfsteil **102**, einen Werkzeugzustandsberechnungsteil **103** und einen Speicher **104**. Hier kann jeder von dem Bearbeitungssteuerungsteil **101**, dem Werkzeugentwurfsteil **102**, dem Werkzeugzustandsberechnungsteil **103** und dem Speicher **104** als individuelle Hardware gestaltet sein oder kann als Software gestaltet sein.

[0028] Der Bearbeitungssteuerungsteil **101** schneidet die Hülse **115** durch Steuern des Spindelmotors 41, um das Bearbeitungswerkzeug **42** zu drehen, durch Steuern des X-Achsenmotors 11c, des Z-Achsenmotors 12c, des Y-Achsenmotors 23c, des A-Achsenmotors 61 und des C-Achsenmotors 62, um die Hülse **115** und das Bearbeitungswerkzeug **42** relativ zueinander in der Richtung parallel zu der X-Achsenrichtung, in der Richtung parallel zu der Z-Achsenrichtung, in der Richtung parallel zu der Y-Achsenrichtung, um die Achse parallel zu der A-Achse und um die Achse parallel zu der C-Achse zu bewegen.

[0029] Der Werkzeugentwurfsteil **102**, der später im Detail beschrieben wird, erhält einen Torsionswinkel βf (siehe **Fig. 5C**) und dergleichen des Schneidblatts **42a** des Bearbeitungswerkzeugs **42**, um das Bearbeitungswerkzeug **42** zu entwerfen.

[0030] Der Werkzeugzustandsberechnungsteil **103**, der später im Detail beschrieben wird, berechnet einen Werkzeugzustand, der eine relative Position und eine Lage des Bearbeitungswerkzeugs **42** mit Bezug auf die Hülse **115** ist.

[0031] In dem Speicher **104** sind Werkzeugdaten betreffend das Bearbeitungswerkzeug **42**, wie ein Schneidkantenkreisdurchmesser d_a , ein Referenzkreisdurchmesser d , eine Zahnkopfhöhe h_a , ein Modul m , ein Profilverschiebungskoeffizient λ , ein Druckwinkel α , ein vorderer Druckwinkel α_t und ein Schneidkantendruckwinkel α_a sowie Bearbeitungsdaten zum Schneiden der Hülse **115** im Voraus gespeichert. In dem Speicher **104** ist auch eine Anzahl von Blättern Z des Schneidblatts **42a**, die einzugeben ist, wenn das Bearbeitungswerkzeug **42** oder dergleichen zu entwerfen ist, gespeichert, und Formdaten des Bearbeitungswerkzeugs **42**, das durch den Werkzeugentwurfsteil **102** entworfen wird, und der Werkzeugzustand, der durch den Werkzeugzustandsberechnungsteil **103** berechnet wird, sind auch gespeichert.

Bearbeitungswerkzeug

[0032] In diesem Beispiel wird ein Fall des Ausbildens von linken verjüngten Zahnflanken **121**, die jeweils die linke Nebenzahnflanke **121a** haben, und rechten verjüngten Zahnflanken **122**, die jeweils rechte Nebenzahnflanken **122a** haben, die jeweils die Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitte **120** der Hülse **115** bilden, durch Schneiden mit zwei Bearbeitungswerkzeugen **42** beschrieben. In der folgenden Beschreibung wird ein Fall des Entwerfens des Bearbeitungswerkzeugs **42** (nachstehend als „erstes Bearbeitungswerkzeug **42F**“ bezeichnet) zum Schneiden der linken verjüngten Zahnflanken **121** beschrieben. Da das Gleiche jedoch auch für einen Fall des Entwerfens des Bearbeitungswerkzeugs **42** (nachstehend als „zweites Bearbeitungswerkzeug **42G**“ bezeichnet) zum Schneiden der rechten verjüngten Zahnflanken **122** gilt, wird eine detaillierte Beschreibung weggelassen.

[0033] Wie in **Fig. 5A** dargestellt ist, haben die Schneidblätter **42af**, wenn das erste Bearbeitungswerkzeug **42F** in einer Richtung einer Werkzeugachse (Drehachse) L von einer Seite einer Werkzeugendfläche **42A** angesehen wird, in diesem Beispiel die gleiche Form wie eine Evolventenkurvenform. Wie in **Fig. 5B** dargestellt ist, hat das Schneidblatt **42af** des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F** einen Spanwinkel, der um einen Winkel γ mit Bezug auf eine Ebene senkrecht zu der Werkzeugachse L geneigt ist, an der Seite der Werkzeugendfläche **42A** und einen vorderen Freiwinkel, der um einen Winkel δ mit Bezug auf eine gerade Linie parallel zu der Werkzeugachse L geneigt ist, an einer Seite einer Werkzeugumfangsfläche **42BB**. Wie in **Fig. 5C** dargestellt ist, haben Blattspuren **42bf** des Schneidblatts **42af** einen Torsionswinkel, der um einen Winkel βf mit Bezug auf eine gerade Linie parallel zu der Werkzeugachse L geneigt ist.

[0034] Wie vorstehend beschrieben ist, werden die linken verjüngten Zahnflanken **121** der Hülse **115** durch Schneiden der inneren Zähne **115a** der Hülse **115** ausgebildet, die bereits durch das erste Bearbeitungswerkzeug **42F** ausgebildet worden sind. Deshalb muss das Schneidblatt **42af** des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F** eine Form haben, die definitiv gestattet, dass die linken verjüngten Zahnflanken **121** einschließlich der linken Nebenzahnflanken **121a** ohne ein Eingreifen mit den benachbarten inneren Zähnen **115a** geschnitten werden, während die inneren Zähne **115a** geschnitten werden.

[0035] Im Speziellen ist es erfordert, dass, wie in **Fig. 6A** gezeigt ist, das Schneidblatt **42af** entworfen wird, um eine Schneidkantenbreite Saf einer Schneidkante **42a** größer zu machen als eine Flankenlinienlänge gf der linken Nebenzahnflanke **121a**, und eine Blattdicke Taf (siehe **Fig. 7**) an einem Referenzkreis C_b des Schneidblatts **42af** kleiner als einen Abstand Hf (nachstehend als „Zahnflankenabstand Hf “ bezeichnet) zwischen der linken verjüngten Zahnflanke **121** und einem geöffneten Ende der rechten verjüngten Zahnflanke **122** zu machen, die der linken verjüngten Zahnflanke **121** zugewandt ist, wenn das Schneidblatt **42af** die linke verjüngte Zahnflanke **121** um eine Länge schneidet, die einer Zahnflankenlinienlänge ff entspricht. Zu dieser Zeit sind die Schneidkantenbreite Saf des Schneidblatts **42af** und die Blattdicke Taf an dem Referenzkreis C_b des Schneidblatts **42af** in Anbetracht einer Haltbarkeit des Schneidblatts **42af** einschließlich beispielsweise einer Beschädigung und dergleichen festgelegt.

[0036] Bei dem Entwerfen des Schneidblatts **42af** ist es erfordert, dass ein Schnittwinkel $\#f$, der durch eine Differenz zwischen einem Torsionswinkel θf (nachstehend als „Schnittwinkel $\#f$ des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F**“ bezeichnet) der linken verjüngten Zahnflanke **121** und einem Torsionswinkel βf des Schneidblatts

42af ausgedrückt ist, festgelegt ist, wie in **Fig. 6B** dargestellt ist. Da der Torsionswinkel θ_f der linken verjüngten Zahnflanke **121** ein bekannter Wert ist und ein möglicher Bereich des Festlegens eines Schnittwinkels $\#f$ des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F** durch die Zahnradbearbeitungsvorrichtung **1** festgelegt ist, legt eine Bedienperson den beliebigen Schnittwinkel $\#f$ vorläufig fest.

[0037] Im Anschluss wird der Torsionswinkel β_f des Schneidblatts **42af** von dem Torsionswinkel θ_f der bekannten linken verjüngten Zahnflanke **121** und dem festgelegten Schnittwinkel $\#f$ des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F** erhalten, und die Schneidkantenbreite S_{af} des Schneidblatts **42af** und die Blattdicke T_{af} an einem Referenzkreis C_b des Schneidblatts **42af** werden erhalten. Durch Wiederholen des vorstehend beschriebenen Prozesses, der soweit beschrieben worden ist, wird das erste Bearbeitungswerkzeug **42F** entworfen, das das optimale Schneidblatt **42af** zum Schneiden der linken verjüngten Zahnflanke **121** hat. Ein Berechnungsbeispiel zum Erhalten der Schneidkantenbreite S_{af} des Schneidblatts **42af** und der Blattdicke T_{af} an dem Referenzkreis C_b des Schneidblatts **42af** werden nachstehend beschrieben.

[0038] Wie in **Fig. 7** dargestellt ist, ist die Schneidkantenbreite S_{af} des Schneidblatts **42af** durch einen Schneidkantenkreisdurchmesser d_a und einen halben Winkel ψ_{af} der Blattdicke des Schneidkantenkreises ausgedrückt (siehe Ausdruck (1)).

Ausdruck 1

$$S_{af} = \psi_{af} \cdot d_a \quad (1)$$

[0039] Der Schneidkantenkreisdurchmesser d_a ist durch den Referenzkreisdurchmesser d und die Zahnkopfhöhe h_a (siehe Ausdruck (2)) ausgedrückt, und zusätzlich ist der Referenzkreisdurchmesser d durch die Anzahl von Blättern Z des Schneidblatts **42af**, einen Torsionswinkel β_f der Blattspuren **42bf** des Schneidblatts **42af** und einem Modul m ausgedrückt (siehe Ausdruck (3)), und die Zahnkopfhöhe h_a ist durch einen Profilverschiebungskoeffizienten λ und den Modul m ausgedrückt (siehe Ausdruck (4)).

Ausdruck 2

$$d_a = d + 2 \cdot h_a \quad (2)$$

Ausdruck 3

$$d = Z \cdot m / \cos \beta_f \quad (3)$$

Ausdruck 4

$$h_a = 2 \cdot m (1 + \lambda) \quad (4)$$

[0040] Der halbe Winkel ψ_{af} der Blattdicke des Schneidkantenkreises ist durch die Anzahl von Blättern Z des Schneidblatts **42af**, den Profilverschiebungskoeffizienten λ , den Druckwinkel α , einen vorderen Druckwinkel α_t und einen Schneidkantendruckwinkel α_a ausgedrückt (siehe Ausdruck (5)). Der vordere Druckwinkel α_t ist durch einen Druckwinkel α und einen Torsionswinkel β_f der Blattspuren **42bf** des Schneidblatts **42af** ausgedrückt (siehe Ausdruck (6)), und der Schneidkantendruckwinkel α_a ist durch einen vorderen Druckwinkel α_t , einen Schneidkantenkreisdurchmesser d_a und einen Referenzkreisdurchmesser d ausgedrückt (siehe Ausdruck (7)).

Ausdruck 5

$$\psi_{af} = \pi / (2 \cdot Z) + 2 \cdot \lambda \cdot \tan \alpha / Z + (\tan \alpha_t - \alpha_t) - (\tan \alpha_a - \alpha_a) \quad (5)$$

Ausdruck 6

$$\alpha t = \tan^{-1}(\tan\alpha/\cos\beta t) \quad (6)$$

Ausdruck 7

$$\alpha a = \cos^{-1}(d \cdot \cos\alpha t / da) \quad (7)$$

[0041] Die Blattdicke Taf des Schneidblatts **42af** ist durch einen halben Winkel ψf der Blattdicke Taf und den Referenzkreisdurchmesser d ausgedrückt (siehe Ausdruck (8)).

Ausdruck 8

$$Taf = \psi f \cdot d \quad (8)$$

[0042] Der Referenzkreisdurchmesser d ist durch die Anzahl von Blättern Z des Schneidblatts **42af**, den Torsionswinkel βf der Blattspuren **42bf** des Schneidblatts **42af** und den Modul m ausgedrückt (siehe Ausdruck (9)).

Ausdruck 9

$$d = Z \cdot m / \cos\beta f \quad (9)$$

[0043] Der halbe Winkel ψf der Blattdicke Taf ist durch die Anzahl von Blättern Z des Schneidblatts **42af**, den Profilverschiebungskoeffizienten λ und den Druckwinkel α ausgedrückt (siehe Ausdruck (10)).

Ausdruck 10

$$\psi f = \pi / (2 \cdot Z) + 2 \cdot \lambda \cdot \tan\alpha / Z \quad (10)$$

[0044] Wie es bis jetzt beschrieben worden ist, wird das erste Bearbeitungswerkzeug **42F** so entworfen, dass die Blattspuren **42bf** des Schneidblatts **42af** einen Torsionswinkel βf haben, der von unten links nach oben rechts geneigt ist, wenn die Werkzeugendfläche 42A in der Zeichnung nach unten von einer Richtung senkrecht zu der Werkzeugachse L angesehen wird, wie in **Fig. 8A** dargestellt ist. In der gleichen Weise wird, wie in **Fig. 8B** dargestellt ist, das zweite Bearbeitungswerkzeug **42G** so entworfen, dass die Blattspuren **42bg** des Schneidblatts **42ag** einen Torsionswinkel βg haben, der von unten rechts nach oben links geneigt ist, wenn die Werkzeugendfläche 42A nach unten in der Zeichnung von einer Richtung senkrecht zu der Werkzeugachse L angesehen wird.

[0045] Wenn das zweite Bearbeitungswerkzeug **42G** entworfen wird, wird eine Verbesserung der Produktionseffizienz durch Erhalten eines Torsionswinkels βg der Blattspuren **42bg** des Schneidblatts **42ag** mit einem Winkel erreicht, der der gleiche ist wie der Schnittwinkel βf , der für das erste Bearbeitungswerkzeug **42F** als der Schnittwinkel βg festgelegt ist, weil die Festlegung des Bearbeitungszustands des zweiten Bearbeitungswerkzeugs **42G** nach dem Austausch des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F** mit dem zweiten Bearbeitungswerkzeug **42G** nicht geändert werden muss. Die Entwürfe des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F** und des zweiten Bearbeitungswerkzeugs **42G** sind durch den Werkzeugentwurfsteil **102** des Steuergeräts **100** durchzuführen, und ein detaillierter Prozess wird später beschrieben.

Werkzeugzustand des Bearbeitungswerkzeugs in der Zahnradbearbeitungsvorrichtung

[0046] Eine Bearbeitungsgenauigkeit wird nachstehend beschrieben, die erreicht wird, wenn das entworfene erste Bearbeitungswerkzeug **42F** auf die Zahnradbearbeitungsvorrichtung **1** angewendet wird und die linken verjüngten Zahnflanken **121** geschnitten werden, während sich der Werkzeugzustand des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F**, wie eine Position des Werkzeugs in der Richtung der Werkzeugachse L des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F** (nachstehend als „axiale Position des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F**“ be-

zeichnet) und der Schnittwinkel $\#f$ des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F**, ändert. Das Gleiche gilt für die Bearbeitungsgenauigkeit, die erreicht wird, wenn die rechte verjüngte Zahnflanke **122** mit dem zweiten Bearbeitungswerkzeug **42G** geschnitten wird, und somit wird eine detaillierte Beschreibung weggelassen.

[0047] Beispielsweise wurde, wie in **Fig. 9A** dargestellt ist, die linke verjüngte Zahnflanke **121** in einem Zustand, in dem die axiale Position des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F**, das heißt ein Schnittpunkt P zwischen der Werkzeugendfläche **42A** und der Werkzeugachse L des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F**, auf einer Drehachse Lw der Hülse **115** gelegen war (Versatzbetrag: 0), in einem Zustand, in dem der Schnittpunkt P um einen Abstand $+k$ in der Richtung der Werkzeugachse L des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F** versetzt war (Versatzbetrag: $+k$), und in einem Zustand bearbeitet, in dem der Schnittpunkt P um einen Abstand $-k$ in der Richtung der Werkzeugachse L des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F** versetzt war (Versatzbetrag: $-k$). Der Schnittwinkel $\#f$ des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F** war der gleiche für alle diese Fälle.

[0048] Resultierende Bearbeitungszustände der linken verjüngten Zahnflanke **121** waren so, wie in **Fig. 9B**, **Fig. 9C** und **Fig. 9D** dargestellt ist. Dicke durchgehende Linien E in der Zeichnung sind Evolventenkurven der linken verjüngten Zahnflanke **121** eines Entwurfs, die beim Entwerfen in gerade Linien umgewandelt wurden, und Punktabschnitte D kennzeichnen geschnittene und entfernte Abschnitte.

[0049] Wie in **Fig. 9B** dargestellt ist, hat die bearbeitete linke verjüngte Zahnflanke **121** bei einem Versatzbetrag von 0 eine Form, die gleich zu der Evolventenkurve eines Entwurfs ist. Im Gegensatz dazu hat die bearbeitete linke verjüngte Zahnflanke **121** bei einem Versatzbetrag $+k$, wie in **Fig. 9C** dargestellt ist, eine Form, die nach rechts (in der Richtung eines gepunkteten Pfeils) in der Zeichnung verschoben ist, das heißt in einer Richtung eines uhrzeigersinnigen Wälzkreises mit Bezug auf die Evolventenkurve eines Entwurfs, und die bearbeitete linke verjüngte Zahnflanke **121** hat bei einem Versatzbetrag $-k$, wie in **Fig. 9D** dargestellt ist, eine Form, die nach links (in der Richtung eines gepunkteten Pfeils) in der Zeichnung verschoben ist, das heißt in einer Richtung eines gegenuhrzeigersinnigen Wälzkreises mit Bezug auf die Evolventenkurve eines Entwurfs verschoben ist. Deshalb kann die Form der linken verjüngten Zahnflanke **121** in der Richtung des Wälzkreises durch Ändern der Position des Bearbeitungswerkzeugs **42** in die Richtung der Werkzeugachse L verschoben werden.

[0050] Darüber hinaus wurde beispielsweise, wie in **Fig. 10A** dargestellt ist, die linke verjüngte Zahnflanke **121** in jedem Fall bearbeitet, wo der Schnittwinkel des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F** $\#f$, $\#b$ und ϕ_c ist. Die Beziehung dieser Winkel hinsichtlich einer Größe ist $\#f > \#b > \phi_c$. Demzufolge waren die Bearbeitungszustände der linken verjüngten Zahnflanke **121** so, wie in **Fig. 10B**, **Fig. 10C** und **Fig. 10D** dargestellt ist.

[0051] Wie in **Fig. 10B** dargestellt ist, hat die bearbeitete linke verjüngte Zahnflanke **121** bei dem Schnittwinkel $\#f$ eine Form, die gleich zu der Evolventenkurve eines Entwurfs ist. Im Gegensatz dazu hat die bearbeitete linke verjüngte Zahnflanke **121** bei einem Schnittwinkel $\#b$, wie in **Fig. 10C** dargestellt ist, eine Form, die sich hinsichtlich einer Breite des Zahnkopfs in einer Richtung des Wälzkreises (in der Richtung eines durchgehenden Pfeils) verschmälert und die sich hinsichtlich einer Breite des Zahnfußes in der Richtung des Wälzkreises (in der Richtung des durchgehenden Pfeils) mit Bezug auf die Evolventenkurve eines Entwurfs verbreitert, und die bearbeitete linke verjüngte Zahnflanke **121** hat mit einem Schnittwinkel ϕ_c , wie in **Fig. 10D** dargestellt ist, eine Form, die hinsichtlich einer Breite des Zahnkopfs in einer Richtung des Wälzkreises (in der Richtung des durchgehenden Pfeils) weiter verschmälert und hinsichtlich einer Breite des Zahnfußes in der Richtung des Wälzkreises (in der Richtung des durchgehenden Pfeils) mit Bezug auf die Evolventenkurve eines Entwurfs weiter verbreitert ist. Deshalb kann die Form der linken verjüngten Zahnflanke **121** bezüglich einer Breite des Zahnkopfs in der Richtung des Wälzkreises und bezüglich einer Breite des Zahnfußes in der Richtung des Wälzkreises durch Ändern des Schnittwinkels des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F** geändert werden.

[0052] Beispielsweise wurde, wie in **Fig. 11A** dargestellt ist, die linke verjüngte Zahnflanke **121** in einem Zustand, in dem die axiale Position des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F**, das heißt der Schnittpunkt P zwischen der Werkzeugendfläche **42A** und der Werkzeugachse L des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F**, auf der Drehachse Lw der Hülse gelegen war (Versatzbetrag: 0) und der Schnittwinkel des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F** $\#f$ war, und in einem Zustand bearbeitet, in dem der Schnittpunkt P um einen Abstand $+k$ in der Richtung der Werkzeugachse L des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F** versetzt war (Versatzbetrag: $+k$) und der Schnittwinkel $\#b$ war. Demzufolge waren die Bearbeitungszustände der linken verjüngten Zahnflanke **121** so, wie in **Fig. 11B** und **Fig. 11C** dargestellt ist.

[0053] Wie in **Fig. 11B** dargestellt ist, hat die bearbeitete linke verjüngte Zahnflanke **121** bei dem Versatzbetrag 0 und dem Schnittwinkel $\#f$ eine Form, die gleich zu der Evolventenkurve eines Entwurfs ist. Im Gegen-

satz dazu ist, wie in **Fig. 11C** dargestellt ist, die bearbeitete linke verjüngte Zahnflanke **121** bei dem Versatzbetrag $+k$ und dem Schnittwinkel $\#b$ nach rechts in der Zeichnung verschoben (in der Richtung eines gepunkteten Pfeils), das heißt sie ist in der Uhrzeigersinnrichtung des Wälzkreises verschoben, und hat mit Bezug auf die Evolventenkurve eines Entwurfs einen Zahnkopf, der sich bezüglich einer Breite in der Richtung des Wälzkreises (Richtung eines durchgehenden Pfeils) verschmälert und einen Zahnfuß, der sich in der Richtung des Wälzkreises (in der Richtung eines durchgehenden Pfeils) verbreitert. Deshalb kann die Form der linken verjüngten Zahnflanke **121** in die Richtung des Wälzkreises durch Ändern der axialen Position des Bearbeitungswerkzeugs **42** und des Schnittwinkels des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F** verschoben werden, um eine Änderung der Breite des Zahnkopfs in der Umfangsrichtung und der Breite des Zahnfußes in der Richtung des Wälzkreises zu gestatten.

[0054] Wie soweit beschrieben worden ist, kann das erste Bearbeitungswerkzeug **42F** die linken verjüngten Zahnflanken **121** mit einem hohen Genauigkeitsgrad durch Festlegen des Versatzbetrags auf 0 und des Schnittwinkels auf $\#f$ in der Zahnradbearbeitungsvorrichtung **1** schneiden. Die Werkzeugzustände des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F** und des zweiten Bearbeitungswerkzeugs **42G** können durch den Werkzeugzustandsberechnungsteil **103** des Steuergeräts **100** festgelegt werden, und eine detaillierte Beschreibung des Prozesses wird später beschrieben.

Durch den Werkzeugentwurfsteil des Steuergeräts durchzuführender Prozess

[0055] Mit Bezug auf **Fig. 2**, **Fig. 6A** und **Fig. 6B** wird ein Entwurfsprozess beschrieben, der an dem ersten Bearbeitungswerkzeug **42F** durch den Werkzeugentwurfsteil **102** des Steuergeräts **100** durchzuführen ist. Es wird angenommen, dass Daten betreffend die Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitte 120, das heißt der Torsionswinkel θf und die Zahnflankenlinienlänge ff der linken verjüngten Zahnflanke **121** und die Zahnflankenlinienlänge gf und der Zahnflankenabstand Hf der linken Nebenzahnflanke 121a, im Voraus in dem Speicher **104** gespeichert sind. Darüber hinaus wird angenommen, dass Daten betreffend das erste Bearbeitungswerkzeug **42F**, wie die Anzahl von Blättern Z , der Schneidkantenkreisdurchmesser d_a , der Referenzkreisdurchmesser d , die Zahnkopfhöhe h_a , der Modul m , der Profilverschiebungskoeffizient λ , der Druckwinkel α , der vordere Druckwinkel α_t und der Schneidkantendruckwinkel α_a , im Voraus in dem Speicher **104** gespeichert sind.

[0056] Der Werkzeugentwurfsteil **102** des Steuergeräts **100** lädt den Torsionswinkel θf der linken verjüngten Zahnflanke **121** aus dem Speicher **104** (Schritt S1 in **Fig. 2**). Dann erhält der Werkzeugentwurfsteil **102** eine Differenz zwischen dem Schnittwinkel $\#f$ des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F**, der durch eine Bedienperson eingegeben wird, und einem Torsionswinkel θf der geladenen linken verjüngten Zahnflanke **121** als einen Torsionswinkel βf der Blattspuren **42bf** des Schneidblatts **42af** des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F** (Schritt S2 in **Fig. 2**).

[0057] Der Werkzeugentwurfsteil **102** lädt die Anzahl von Blättern Z oder dergleichen des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F** aus dem Speicher **104** und erhält die Schneidkantenbreite Saf und die Blattdicke Taf des Schneidblatts **42af** auf der Basis der geladenen Anzahl von Blättern Z oder dergleichen des geladenen ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F** und des erhaltenen Torsionswinkels βf der Blattspuren **42bf** des Schneidblatts **42af**. Die Schneidkantenbreite Saf des Schneidblatts **42af** wird von der Evolventenkurve auf der Basis der Blattdicke Taf erhalten. Falls ein wünschenswerter Eingriff an dem Zähneabschnitt aufrechterhalten werden kann, wird die Schneidkantenbreite Saf als eine nicht-evolvente oder lineare Zahnflanke erhalten (Schritt S3 in **Fig. 2**).

[0058] Der Werkzeugentwurfsteil **102** liest den Zahnflankenabstand Hf aus dem Speicher **104** aus und bestimmt, ob die erhaltene Blattdicke Taf des Werkzeugschneidblatts **42af** kleiner ist als der Zahnflankenabstand Hf oder nicht (Schritt S4 in **Fig. 2**). Wenn die erhaltene Blattdicke Taf des Schneidblatts **42af** gleich wie oder größer als der Zahnflankenabstand Hf ist, kehrt der Werkzeugentwurfsteil **102** zu Schritt S2 zurück und wiederholt den vorstehend beschriebenen Prozess.

[0059] Im Gegensatz dazu, wenn die erhaltene Blattdicke Taf des Schneidblatts **42af** auf eine Dicke verringert ist, die kleiner ist als der Zahnflankenabstand Hf , bestimmt der Werkzeugentwurfsteil **102** die Form des Bearbeitungswerkzeugs **42** auf der Basis des erhaltenen Torsionswinkels βf der Blattspuren **42bf** des Schneidblatts **42af** (Schritt S5 in **Fig. 2**) und speichert die bestimmten Formdaten des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F** in dem Speicher **104** (Schritt S6 in **Fig. 2**) und beendet den gesamten Prozess. Demzufolge wird das erste Bearbeitungswerkzeug **42F** entworfen, das das optimale Schneidblatt **42af** hat.

Prozess, der durch den Werkzeugzustandsberechnungsteil des Steuergeräts durchzuführen ist

[0060] Mit Bezug auf **Fig. 3** wird nun der Prozess beschrieben, der durch den Werkzeugzustandsberechnungsteil **103** des Steuergeräts **100** durchzuführen ist. Da dieser Prozess ein Simulationsprozess zum Berechnen einer Trajektorie des Schneidblatts **42af** des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F** auf der Basis einer bekannten Zahnradherstellungstheorie ist, ist ein tatsächliches Bearbeiten nicht notwendig, und somit kann eine Kostenverringerung erreicht werden.

[0061] Der Werkzeugzustandsberechnungsteil **103** des Steuergeräts **100** lädt einen Werkzeugzustand, wie die axiale Position des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F** oder dergleichen, zum Schneiden der linken verjüngten Zahnflanke **121** aus dem Speicher **104** (Schritt S11 in **Fig. 3**), speichert „1 (erstes Mal)“ als die Anzahl von Malen einer Simulation n in dem Speicher **104** (Schritt S12 in **Fig. 3**) und legt das erste Bearbeitungswerkzeug **42F** auf den geladenen Werkzeugzustand fest (Schritt S13 in **Fig. 3**).

[0062] Der Werkzeugzustandsberechnungsteil **103** erhält eine Werkzeugtrajektorie, die für ein Bearbeiten der linken verjüngten Zahnflanke **121** heranzuziehen ist, auf der Basis der Formdaten des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F**, die aus dem Speicher **104** geladen worden sind (Schritt S14 in **Fig. 3**), und erhält die Form der linken verjüngten Zahnflanke **121** nach einem Bearbeiten (Schritt S15 in **Fig. 3**). Dann vergleicht der Werkzeugzustandsberechnungsteil **103** die erhaltene Form der linken verjüngten Zahnflanke **121** nach der Bearbeitung und die Form der linken verjüngten Zahnflanke **121** eines Entwurfs, erhält einen Formfehler und speichert den erhaltenen Formfehler in dem Speicher **104** (Schritt S16 in **Fig. 3**) und erhöht die Anzahl von Malen einer Simulation n um 1 (Schritt S17 in **Fig. 3**).

[0063] Der Werkzeugzustandsberechnungsteil **103** bestimmt, ob die Anzahl von Malen einer Simulation n eine vorbestimmte Anzahl von Malen nn erreicht (Schritt S18 in **Fig. 3**), und ändert, falls die Anzahl von Malen einer Simulation n die vorfestgelegte Anzahl von Malen nn nicht erreicht, den Werkzeugzustand des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F**, beispielsweise die axiale Position des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F** (Schritt S19 in **Fig. 3**), geht dann zurück zu Schritt S14 und wiederholt den vorstehend beschriebenen Prozess. Im Gegensatz dazu wählt der Werkzeugzustandsberechnungsteil **103**, wenn die Anzahl von Malen einer Simulation n die vorfestgelegte Anzahl von Malen nn erreicht, die axiale Position des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F** aus, die den minimalen Fehler von den gespeicherten Formfehlern hat, und speichert die ausgewählte axiale Position in dem Speicher **104** (Schritt S20 in **Fig. 3**) und beendet den gesamten Prozess.

[0064] In dem vorstehend beschriebenen Prozess wird die Simulation mit einer Vielzahl von Anzahlen von Malen durchgeführt und die axiale Position des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F** wird ausgewählt, die den minimalen Fehler hat. Jedoch ist es auch möglich, einen zulässigen Formfehler im Voraus festzulegen und die axiale Position des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F** auszuwählen, wenn der Formfehler, der in Schritt S16 berechnet wird, ein Wert gleich wie oder kleiner als der zulässige Formfehler wird. In dem Schritt S19 ist es, anstatt die axiale Position des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F** zu ändern, auch möglich, den Schnittwinkel **#f** des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F** zu ändern oder die Position des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F** um die Achse herum zu ändern oder eine beliebige Kombination aus dem Schnittwinkel, der axialen Position und der Position um die Achse herum zu ändern.

Prozess, der durch den Bearbeitungssteuerungsteil des Steuergeräts durchzuführen ist

[0065] Mit Bezug auf **Fig. 4** wird nun der Prozess beschrieben, der durch den Bearbeitungssteuerungsteil **101** des Steuergeräts **100** durchzuführen ist. Es wird hier angenommen, dass eine Bedienperson das erste Bearbeitungswerkzeug **42F** und das zweite Bearbeitungswerkzeug **42G** auf der Basis der jeweiligen Formdaten des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F** und des zweiten Bearbeitungswerkzeugs **42G**, die durch den Werkzeugentwurfsteil **102** entworfen sind, herstellt und sie in einer automatischen Werkzeugaustauschvorrichtung in der Zahnradbearbeitungsvorrichtung **1** einsetzt. Es wird auch angenommen, dass die Hülse **115** an dem Werkstückhalter **80** der Zahnradbearbeitungsvorrichtung **1** montiert ist und die inneren Zähne **115a** durch Drehen, Räumen oder dergleichen ausgebildet werden.

[0066] Der Bearbeitungssteuerungsteil **101** des Steuergeräts **100** tauscht das Bearbeitungswerkzeug des vorherigen Bearbeitungsschritts (Drehen oder Räumen, etc.) mit dem ersten Bearbeitungswerkzeug **42F** mittels der automatischen Werkzeugaustauschvorrichtung aus (Schritt S21 in **Fig. 4**). Der Bearbeitungssteuerungsteil **101** platziert das erste Bearbeitungswerkzeug **42F** und die Hülse **115**, um den Werkzeugzustand des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F** zu erreichen, der durch den Werkzeugzustandsberechnungsteil **103** erhalten wird (Schritt S22 in **Fig. 4**), schneidet die inneren Zähne **115a** durch Voranbewegen des ersten Bearbeitungswerk-

zeugs **42F** in die Richtung der Drehachse Lw der Hülse **115**, während das erste Bearbeitungswerkzeug **42F** synchron mit der Hülse **115** gedreht wird, und bildet die linken verjüngten Zahnflanken **121** einschließlich der linken Nebenzahnflanken 121a jeweils an den inneren Zähnen **115a** aus (Schritt S23 in **Fig. 4**).

[0067] Mit anderen Worten gesagt bildet das erste Bearbeitungswerkzeug **42F**, wie in **Fig. 12A** bis **Fig. 12C** gezeigt ist, die linken verjüngten Zahnflanken **121** einschließlich der linken Nebenzahnflanken 121a an den inneren Zähnen **115a** durch einen einmaligen oder mehrmaligen Schneidbetrieb in der Richtung der Drehachse Lw der Hülse **115** aus. Das erste Bearbeitungswerkzeug **42F** zu dieser Zeit muss einen Voranbewegungsbetrieb und einen Zurückbewegungsbetrieb in der entgegengesetzten Richtung von dem Voranbewegungsbetrieb durchführen. Jedoch ist, wie in **Fig. 12C** dargestellt ist, der Umkehrbetrieb mit einer Trägheitskraft verknüpft. Deshalb endet der Voranbewegungsbetrieb des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F** an einem Punkt Q, der um einen vorbestimmten Betrag kürzer ist als die Zahnflankenlinienlänge ff der linken verjüngten Zahnflanken **121**, der die linken verjüngten Zahnflanken **121** einschließlich der linken Nebenzahnflanken 121a ausbilden kann, und geht in den Zurückbewegungsbetrieb über. Der Voranbewegungsendpunkt Q kann durch Messen mit einem Sensor oder dergleichen erhalten werden. Falls jedoch der Voranbewegungsbetrag in ausreichender Weise genau mit Bezug auf die erforderte Bearbeitungsgenauigkeit ist, ist eine Messung nicht notwendig und ein Punkt Q kann durch den Voranbewegungsbetrag eingestellt werden. Mit anderen Worten gesagt wird eine genaue Bearbeitung durch eine Schneidarbeit erreicht, während der Voranbewegungsbetrag eingestellt wird, um eine Bearbeitung bis zu dem Punkt Q zu gewährleisten.

[0068] Wenn ein Schneiden der linken verjüngten Zahnflanken **121** beendet ist (Schritt S24 in **Fig. 4**), bewirkt der Bearbeitungssteuerungsteil **101**, dass die automatische Werkzeugaustauschvorrichtung das erste Bearbeitungswerkzeug **42F** mit dem zweiten Bearbeitungswerkzeug **42G** austauscht (Schritt S25 in **Fig. 4**). Der Bearbeitungssteuerungsteil **101** platziert das zweite Bearbeitungswerkzeug **42G** und die Hülse **115**, um den Werkzeugzustand des zweiten Bearbeitungswerkzeugs **42G** zu erreichen, der durch den Werkzeugzustandsberechnungsteil **103** erhalten wird (Schritt S26 in **Fig. 4**), schneidet die inneren Zähne **115a** durch Voranbewegen des zweiten Bearbeitungswerkzeugs **42G** in die Richtung der Drehachse Lw der Hülse **115**, während das zweite Bearbeitungswerkzeug **42G** synchron mit der Hülse **115** gedreht wird, und bildet die rechten verjüngten Zahnflanken **122** einschließlich der rechten Nebenzahnflanken 122a an den inneren Zähnen **115a** aus (Schritt S27 in **Fig. 4**). Wenn ein Schneiden der rechten verjüngten Zahnflanken **122** abgeschlossen ist (Schritt S28 in **Fig. 4**), beendet der Bearbeitungssteuerungsteil **101** den gesamten Prozess.

Modifikation des Bearbeitungswerkzeugs

[0069] In dem vorstehend beschriebenen Beispiel ist der Fall des jeweiligen Schneidens der linken verjüngten Zahnflanken **121** und der rechten verjüngten Zahnflanken **122**, die die Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitte 120 der Hülse **115** bilden, jeweils unter Verwendung zweier Bearbeitungswerkzeuge **42** (dem ersten Bearbeitungswerkzeug **42F** und dem zweiten Bearbeitungswerkzeug **42G**) beschrieben worden. In diesem Beispiel wird ein Fall des Schneidens durch Verwendung des einzelnen Bearbeitungswerkzeugs **42** beschrieben.

[0070] Beispiele von Verfahren, die zum Schneiden der linken verjüngten Zahnflanken **121** und der rechten verjüngten Zahnflanken **122** mit verschiedenen Torsionswinkeln mit dem einzelnen Bearbeitungswerkzeug **42** heranzuziehen sind, umfassen ein Verfahren des Verwendens eines Bearbeitungswerkzeugs **42**, das Schneidblätter **42a** mit einer rechten Blattfläche und einer linken Blattfläche mit unterschiedlichen Torsionswinkeln hat, und ein Verfahren des Verwendens des Bearbeitungswerkzeugs **42**, das Schneidblätter **42a** mit einer linken Blattfläche und einer rechten Blattfläche mit dem gleichen Torsionswinkel hat. In diesem Beispiel wird ein Fall des Schneidens durch Verwenden des Bearbeitungswerkzeugs **42**, das die Schneidblätter **42a** mit der linken Blattfläche und der rechten Blattfläche mit dem gleichen Torsionswinkel hat, beschrieben. In diesem Fall müssen der Schnittwinkel $\#f$ des Bearbeitungswerkzeugs **42**, wenn die linke verjüngte Zahnflanke **121** geschnitten wird, und der Schnittwinkel ϕr des Bearbeitungswerkzeugs **42**, wenn die rechte verjüngte Zahnflanke **122** geschnitten wird, unterschieden werden.

[0071] Auch in dem Fall des Bearbeitungswerkzeugs **42** muss, in der gleichen Weise wie bei dem ersten Bearbeitungswerkzeug **42F** und dem zweiten Bearbeitungswerkzeug **42G**, das Schneidblatt **42af** des Bearbeitungswerkzeugs **42** eine Form haben, die ein Schneiden der linken verjüngten Zahnflanken **121** einschließlich der linken Nebenzahnflanken 121a und der rechten verjüngten Zahnflanke **122** einschließlich der rechten Nebenzahnflanke 122a gestattet, ohne mit den benachbarten inneren Zähnen **115a** einzugreifen, während die inneren Zähne **115a** geschnitten werden.

[0072] Deshalb wird ein Entwerfen des Bearbeitungswerkzeugs **42** durch den Werkzeugentwurfsteil **102** des Steuergeräts **100** durchgeführt.

[0073] Das Bearbeitungswerkzeug **42** muss die Fähigkeit haben, die linke verjüngte Zahnflanke **121** einschließlich der linken Nebenzahnflanke **121a** und die rechte verjüngte Zahnflanke **122** einschließlich der rechten Nebenzahnflanke **122a** mit einem hohen Genauigkeitsgrad zu schneiden. Deshalb wird eine Festlegung des Werkzeugzustands des Bearbeitungswerkzeugs **42** durch den Werkzeugzustandsberechnungsteil **103** des Steuergeräts **100** durchgeführt. Die Schneidarbeit durch das Bearbeitungswerkzeug **42** wird durch den Bearbeitungssteuerungsteil **101** durchgeführt. In der folgenden Beschreibung ist der Prozess, der durch den Werkzeugzustandsberechnungsteil **103** durchzuführen ist, der gleiche wie bei dem Beispiel, das vorstehend beschrieben ist, und der Prozess, der durch den Bearbeitungssteuerungsteil **101** durchgeführt wird, ist der gleiche wie bei dem Beispiel, das vorstehend beschrieben ist, mit Ausnahme des Punkts, dass ein Austausch des Werkzeugs nicht durchgeführt wird, und somit wird eine detaillierte Beschreibung weggelassen und der Prozess, der durch den Werkzeugentwurfsteil **102** durchzuführen ist, wird beschrieben.

Prozess, der durch den Werkzeugentwurfsteil des Steuergeräts durchzuführen ist

[0074] Im Anschluss wird ein Entwurfsprozess, der durch den Werkzeugentwurfsteil **102** des Steuergeräts **100** an dem Bearbeitungswerkzeug **42** durchzuführen ist, mit Bezug auf **Fig. 13**, **Fig. 14A**, **Fig. 14B** und **Fig. 14C** beschrieben. Es sei angemerkt, dass angenommen wird, dass Daten betreffend die Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitte **120**, das heißt der Torsionswinkel θ_f und die Zahnflankenlinienlänge ff der linken verjüngten Zahnflanke **121**, die Zahnflankenlinienlänge gf und der Zahnflankenabstand H_f der linken Nebenzahnflanke **121a**, der Torsionswinkel θ_r und die Zahnflankenlinienlänge fr der rechten verjüngten Zahnflanke **122** und die Zahnflankenlinienlänge gr und der Zahnflankenabstand H_r der rechten Nebenzahnflanke **122a**, im Voraus in dem Speicher **104** gespeichert sind. Darüber hinaus wird angenommen, dass Daten betreffend das Bearbeitungswerkzeug **42**, wie die Anzahl von Blättern Z , der Schneidkantenkreisdurchmesser d_a , der Referenzkreisdurchmesser d , die Zahnkopfhöhe h_a , das Modul m , der Profilverschiebungskoeffizient λ , der Druckwinkel α , der vordere Druckwinkel α_t und der Schneidkantendruckwinkel α_a , im Voraus in dem Speicher **104** gespeichert sind.

[0075] Der Werkzeugentwurfsteil **102** des Steuergeräts **100** lädt den Torsionswinkel θ_f der linken verjüngten Zahnflanke **121** aus dem Speicher **104** (Schritt S31 in **Fig. 13**). Dann erhält der Werkzeugentwurfsteil **102** eine Differenz zwischen dem Schnittwinkel $\#ff$ des Bearbeitungswerkzeugs **42**, der durch eine Bedienperson eingegeben wird, wenn die linke verjüngte Zahnflanke **121** geschnitten wird, und einem Torsionswinkel θ_{ff} der geladenen linken verjüngten Zahnflanke **121** als einen Torsionswinkel β der Blattspuren **42b** des Schneidblatts **42a** des Bearbeitungswerkzeugs **42** (Schritt S32 in **Fig. 13**).

[0076] Der Werkzeugentwurfsteil **102** lädt die Anzahl von Blättern Z oder dergleichen des Bearbeitungswerkzeugs **42** aus dem Speicher **104** und erhält die Schneidkantenbreite S_a und die Blattdicke T_a des Schneidblatts **42a** auf der Basis der geladenen Anzahl von Blättern Z oder dergleichen des geladenen Bearbeitungswerkzeugs **42** und des erhaltenen Torsionswinkels β der Blattspuren **42b** des Schneidblatts **42a**. Die Schneidkantenbreite S_a des Schneidblatts **42a** wird von der Evolventenkurve auf der Basis der Blattdicke T_a erhalten. Falls ein wünschenswerter Eingriff an dem Zähneabschnitt aufrechterhalten werden kann, wird die Schneidkantenbreite S_a als eine nicht-evolvente oder lineare Zahnflanke erhalten (Schritt S33 in **Fig. 13**).

[0077] Der Werkzeugentwurfsteil **102** liest den Zahnflankenabstand H_f aus dem Speicher **104** aus und bestimmt, ob die erhaltene Blattdicke T_a des Werkzeugschneidblatts **42a** kleiner ist als der Werkzeugflankenabstand H_f an der Seite der linken verjüngten Zahnflanke **121** (Schritt S34 in **Fig. 13**). Wenn die erhaltene Blattdicke T_a des Schneidblatts **42a** gleich wie oder größer als der Zahnflankenabstand H_f an der Seite der linken verjüngten Zahnflanke **121** ist, kehrt der Werkzeugentwurfsteil **102** zu Schritt S32 zurück und wiederholt den vorstehend beschriebenen Prozess.

[0078] Im Gegensatz dazu lädt der Werkzeugentwurfsteil **102** den Torsionswinkel θ_r der rechten verjüngten Zahnflanke **122** aus dem Speicher **104**, wenn die Blattdicke T_a des erhaltenen Schneidblatts **42a** kleiner wird als der Zahnflankenabstand H_f an der Seite der linken verjüngten Zahnflanke **121** (Schritt S35 in **Fig. 13**). Der Werkzeugentwurfsteil **102** erhält dann eine Differenz zwischen dem Torsionswinkel β (β_T) der Blattspuren **42b** des Schneidblatts **42a** des Bearbeitungswerkzeugs **42**, der in Schritt S32 erhalten wird, und dem geladenen Torsionswinkel θ_r der rechten verjüngten Zahnflanke **122** als einen Schnittwinkel $\#rr$ des Bearbeitungswerkzeugs **42**, wenn die rechte verjüngte Zahnflanke **122** geschnitten wird (Schritt S36 von **Fig. 13**).

[0079] Der Werkzeugentwurfsteil **102** liest den Zahnflankenabstand H_r aus dem Speicher **104** aus, und es wird bestimmt, ob die Blattdicke T_a kleiner ist als der Zahnflankenabstand H_r an der Seite der rechten verjüngten Zahnflanke **122** oder nicht (Schritt S37 in **Fig. 13**). Wenn die Blattdicke T_a gleich wie oder größer als der Zahnflankenabstand H_r an der Seite der rechten verjüngten Zahnflanke **122** ist, kehrt der Werkzeugentwurfsteil **102** zu Schritt S32 zurück und wiederholt den vorstehend beschriebenen Prozess.

[0080] Wenn im Gegensatz dazu die Blattdicke T_a auf eine Dicke verringert ist, die kleiner ist als der Zahnflankenabstand H_r an der Seite der rechten verjüngten Zahnflanke **122**, bestimmt der Werkzeugentwurfsteil **102** die Form des Bearbeitungswerkzeugs **42** auf der Basis des erhaltenen Torsionswinkels β der Blattspuren **42b** des Schneidblatts **42a** (Schritt S38 in **Fig. 13**), speichert die bestimmten Formdaten des Bearbeitungswerkzeugs **42** in dem Speicher **104** (Schritt S39 in **Fig. 13**) und beendet den gesamten Prozess. Demzufolge wird das Bearbeitungswerkzeug **42** entworfen, das das optimale Schneidblatt **42a** hat.

Bearbeitungswerkzeug zum Bearbeiten einer ersten alternativen Form

[0081] Wie vorstehend beschrieben ist, werden die Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitte 120, die mit den äußeren Zähnen 117a des Kupplungszahnrads 117 und den äußeren Zähnen 118a des Synchronrings 118 eingreifen können, an den inneren Zähnen **115a** der Hülse **115** ausgebildet. Beispiele von alternativen Formen der Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitte 120 umfassen Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitte 120, die an den inneren Zähnen **115a** der Hülse **115** ausgebildet sind, wobei jeder eine linke gefaste (abgeschrägte) Zahnflanke **131** und eine rechte gefaste (abgeschrägte) Zahnflanke **132**, die an Enden an der Seite der linken verjüngten Zahnflanke **121** und der Seite der rechten verjüngten Zahnflanke **122** ausgebildet sind, für einen sanften Eingriff hat, wie in **Fig. 25** und **Fig. 26** dargestellt ist.

[0082] Mit anderen Worten gesagt hat die linke Seitenfläche **115A** des inneren Zahns **115a** der Hülse **115** eine linke Zahnflanke **115b**, eine linke verjüngte Zahnflanke **121** und eine linke gefaste Zahnflanke **131** mit einem Torsionswinkel, der sich von der linken Zahnflanke **115b** unterscheidet (die einer „zweiten Zahnflanke“ der Erfindung entspricht). Des Weiteren hat die rechte Seitenfläche **115B** des inneren Zahns **115a** der Hülse **115** eine rechte Zahnflanke **115c**, eine rechte verjüngte Zahnflanke **122** und eine rechte gefaste Zahnflanke **132** mit einem unterschiedlichen Torsionswinkel von der rechten Zahnflanke **115c** (die einer „vierten Zahnflanke“ oder einer „zweiten Zahnflanke“ der Erfindung entspricht). In diesem Beispiel ist der Torsionswinkel der linken gefasten Zahnflanke **131** $0L$ Grad und der Torsionswinkel der rechten gefasten Zahnflanke **132** ist $0R$.

[0083] In diesem Beispiel wird ein Fall beschrieben, in dem die linke gefaste Zahnflanke **131** und die rechte gefaste Zahnflanke **132** jeweils durch Schneiden mit zwei von den Bearbeitungswerkzeugen **42** ausgebildet werden. In der folgenden Beschreibung wird ein Fall des Entwerfens des Bearbeitungswerkzeugs **42** zum Schneiden der rechten gefasten Zahnflanke **132** (nachstehend als „zweites Bearbeitungswerkzeug 42R“ bezeichnet) beschrieben. Da das Gleiche jedoch auch für einen Fall des Entwerfens des Bearbeitungswerkzeugs **42** zum Schneiden der linken gefasten Zahnflanke **131** (nachstehend als „erstes Bearbeitungswerkzeug 42L“ bezeichnet) gilt, wird eine detaillierte Beschreibung weggelassen.

[0084] Das zweite Bearbeitungswerkzeug **42R** ist in im Wesentlichen der gleichen Form wie die Form des zweiten Bearbeitungswerkzeugs **42G** zum Schneiden der linken verjüngten Zahnflanke **121** (siehe **Fig. 5A**, **Fig. 5B** und **Fig. 5C**, vorausgesetzt, dass Suffixe f, F mit g, G ausgetauscht sind) ausgebildet, mit Ausnahme der Form des Schneidblatts **42ag** des zweiten Bearbeitungswerkzeugs **42G** (die Form der Evolventenkurve). Mit anderen Worten gesagt hat die Form eines Schneidblatts **42aR** des zweiten Bearbeitungswerkzeugs **42R** (siehe **Fig. 18**) einen Druckwinkel der rechten gefasten Zahnflanke **132** von im Wesentlichen 0 Grad und ist somit in diesem Beispiel in einer im Wesentlichen rechteckigen Form ausgebildet.

[0085] Die rechten gefasten Zahnflanken **132** der Hülse **115** werden durch Schneiden der inneren Zähne **115a** der Hülse **115**, die bereits ausgebildet sind, mit dem zweiten Bearbeitungswerkzeug **42R** ausgebildet. Deshalb muss das Schneidblatt **42aR** des zweiten Bearbeitungswerkzeugs **42R** eine Form haben, die ein Schneiden der rechten gefasten Zahnflanke **132** ohne Eingreifen mit den benachbarten inneren Zähnen **115a** gestattet, während die inneren Zähne **115a** geschnitten werden.

[0086] Im Speziellen ist es, wie in **Fig. 16A** dargestellt ist, erforderlich, dass das Schneidblatt **42aR** so entworfen wird, dass eine Schneidkantenbreite SaR des Schneidblatts **42aR** kleiner gemacht ist als ein Abstand JR zwischen der rechten gefasten Zahnflanke **132** und der linken Zahnflanke **115b** des inneren Zahns **115a**, die der rechten gefasten Zahnflanke **132** zugewandt ist (nachstehend als „Zahnflankenabstand JR “ bezeichnet), wenn das Schneidblatt **42aR** die rechte gefaste Zahnflanke **132** mit einer Länge entsprechend einer Zahnflankenli-

nienlänge rr schneidet. Zu dieser Zeit ist die Schneidkantenbreite SaR des Schneidblatts **42aR** in Anbetracht einer Haltbarkeit des Schneidblatts **42aR** einschließlich beispielsweise einer Beschädigung und dergleichen festgelegt.

[0087] Beim Entwerfen des Schneidblatts **42aR** ist es erfordert, dass ein Schnittwinkel $\#R$, der durch eine Differenz zwischen einem Torsionswinkel σ der rechten gefasten Zahnflanke **132** und einem Torsionswinkel βR des Schneidblatts **42aR** ausgedrückt ist (nachstehend als „Schnittwinkel $\#R$ des zweiten Bearbeitungswerkzeugs **42R**“ bezeichnet), festgelegt wird, wie in **Fig. 16B** dargestellt ist. Da der Torsionswinkel σ der rechten gefasten Zahnflanke **132** ein bekannter Wert ist, und ein möglicher Bereich des Festlegens des Schnittwinkels $\#R$ des zweiten Bearbeitungswerkzeugs **42R** durch die Zahnradbearbeitungsvorrichtung **1** festgelegt wird, legt die Bedienperson den beliebigen Schnittwinkel $\#R$ vorläufig fest.

[0088] Im Anschluss wird der Torsionswinkel βR des Schneidblatts **42aR** von dem bekannten Torsionswinkel σ der rechten gefasten Zahnflanke **132** und dem festgelegten Schnittwinkel $\#R$ des zweiten Bearbeitungswerkzeugs **42R** erhalten, und dann wird die Schneidkantenbreite SaR des Schneidblatts **42aR** erhalten. Durch Wiederholen des vorstehend beschriebenen Prozesses, der soweit beschrieben worden ist, wird das zweite Bearbeitungswerkzeug **42R** entworfen, das das optimale Schneidblatt **42aR** zum Schneiden der rechten gefasten Zahnflanken **132** hat.

[0089] Wie soweit beschrieben worden ist, ist das zweite Bearbeitungswerkzeug **42R** so entworfen, dass die Blattspuren **42bR** des Schneidblatts **42aR** den Torsionswinkel βR haben, der von unten links nach oben rechts aus Sicht auf die Werkzeugendfläche **42A** nach unten in der Zeichnung von einer Richtung senkrecht zu der Werkzeugachse **L** geneigt ist, wie in **Fig. 17A** gezeigt ist. In der gleichen Weise ist, wie in **Fig. 17B** dargestellt ist, das erste Bearbeitungswerkzeug **42L** so entworfen, dass die Blattspuren **42bL** des Schneidblatts **42aL** einen Torsionswinkel βL haben, der von unten rechts nach oben links aus Sicht auf die Werkzeugendfläche **42A** nach unten in der Zeichnung von einer Richtung senkrecht zu der Werkzeugachse **L** geneigt ist.

[0090] Wenn das erste Bearbeitungswerkzeug **42L** entworfen wird, wird eine Verbesserung einer Produktionseffizienz erreicht, indem der Torsionswinkel βL der Blattspuren **42bL** des Schneidblatts **42aL** mit einem Winkel, der der gleiche Winkel ist wie der Schnittwinkel $\#L$, der für das zweite Bearbeitungswerkzeug **42R** festgelegt ist, als der Schnittwinkel $\#R$ erhalten wird, weil die Festlegung des Bearbeitungszustands des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42L** nach dem Austauschen des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42L** mit dem zweiten Bearbeitungswerkzeug **42R** nicht geändert werden muss. Die Entwürfe des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42L** und des zweiten Bearbeitungswerkzeugs **42R** sind durch den Werkzeugentwurfsteil **102** des Steuergeräts **100** durchzuführen.

[0091] Das erste Bearbeitungswerkzeug **42L** und das zweite Bearbeitungswerkzeug **42R** müssen die linke gefaste Zahnflanke **131** und die rechte gefaste Zahnflanke **132** mit einem hohen Genauigkeitsgrad schneiden können. Deshalb wird ein Festlegen der Werkzeugzustände des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42L** und des zweiten Bearbeitungswerkzeugs **42R** durch den Werkzeugzustandsberechnungsteil **103** des Steuergeräts **100** durchgeführt. Die Schneidarbeit durch das erste Bearbeitungswerkzeug **42L** und das zweite Bearbeitungswerkzeug **42R** wird durch den Bearbeitungssteuerungsteil **101** durchgeführt. Da der Prozess, der durch den Werkzeugzustandsberechnungsteil **103** durchzuführen ist, und der Prozess, der durch den Bearbeitungssteuerungsteil **101** durchzuführen ist, die gleichen sind wie bei dem vorstehend beschriebenen Beispiel, wird eine detaillierte Beschreibung weggelassen, und der Prozess, der durch den Werkzeugentwurfsteil **102** durchzuführen ist, wird in der folgenden Beschreibung beschrieben.

Prozess, der durch den Werkzeugentwurfsteil des Steuergeräts durchzuführen ist

[0092] Ein Prozess des Entwerfens des zweiten Bearbeitungswerkzeugs **42R**, der durch den Werkzeugentwurfsteil **102** des Steuergeräts **100** durchzuführen ist, wird mit Bezug auf **Fig. 15**, **Fig. 16A** und **Fig. 16B** beschrieben. Es wird angenommen, dass der Torsionswinkel θr , die Zahnflankenlinienlänge rr , die Höhe, der Druckwinkel und der Zahnflankenabstand JR der rechten gefasten Zahnflanke **132** im Voraus in dem Speicher **104** gespeichert sind. Darüber hinaus wird angenommen, dass Daten betreffend das zweite Bearbeitungswerkzeug **42R**, wie die Anzahl von Blättern Z , der Schneidkantenkreisdurchmesser da , der Referenzkreisdurchmesser d , die Zahnkopfhöhe ha , der Modul m , der Profilverschiebungskoeffizient λ , der Druckwinkel α , der vordere Druckwinkel αt und der Schneidkantendruckwinkel αa , im Voraus in dem Speicher **104** gespeichert sind.

[0093] Der Werkzeugentwurfsteil **102** des Steuergeräts **100** lädt den Torsionswinkel θr der rechten gefasten Zahnflanke **132** aus dem Speicher **104** (Schritt **S51** in **Fig. 15**). Dann erhält der Werkzeugentwurfsteil **102** eine

Differenz zwischen dem Schnittwinkel $\#R$ des zweiten Bearbeitungswerkzeugs **42R**, der durch die Bedienperson eingegeben wird, und dem geladenen Torsionswinkel θ_r der rechten gefasten Zahnflanke **132** als einen Torsionswinkel β_R der Blattspuren **42bR** des Schneidblatts **42aR** des zweiten Bearbeitungswerkzeugs **42R** (Schritt S52 in **Fig. 15**).

[0094] Der Werkzeugentwurfsteil **102** lädt die Anzahl von Blättern Z oder dergleichen des zweiten Bearbeitungswerkzeugs **42R** aus dem Speicher **104** und erhält die Schneidkantenbreite SaR des Schneidblatts **42aR** auf der Basis der Anzahl von Blättern Z oder dergleichen des geladenen zweiten Bearbeitungswerkzeugs **42R** und des erhaltenen Torsionswinkels β_R der Blattspuren **42bR** des Schneidblatts **42aR** (Schritt 53 in **Fig. 15**). Der Werkzeugentwurfsteil **102** liest den Zahnflankenabstand JR aus dem Speicher **104** aus und bestimmt, ob die erhaltene Schneidkantenbreite SaR des Schneidblatts **42aR** kleiner ist als der Zahnflankenabstand JR oder nicht (Schritt S54 in **Fig. 15**).

[0095] Wenn die erhaltene Schneidkantenbreite SaR des Schneidblatts **42aR** gleich wie oder größer als der Zahnflankenabstand JR ist, kehrt der Werkzeugentwurfsteil **102** zu Schritt S52 zurück und wiederholt den vorstehend beschriebenen Prozess. Wenn im Gegensatz dazu die erhaltene Schneidkantenbreite SaR des Schneidblatts **42aR** auf einen Abstand verringert ist, der kleiner ist als der Zahnflankenabstand JR, bestimmt der Werkzeugentwurfsteil **102** die Form des zweiten Bearbeitungswerkzeugs **42R** auf der Basis des erhaltenen Torsionswinkels β_R der Blattspuren **42bR** des Schneidblatts **42aR** (Schritt S55 in **Fig. 15**), speichert die bestimmten Formdaten des zweiten Bearbeitungswerkzeugs **42R** in dem Speicher **104** (Schritt S56 in **Fig. 15**) und beendet den gesamten Prozess. Demzufolge wird das zweite Bearbeitungswerkzeug **42R** entworfen, das das optimale Schneidblatt **42aR** hat. Das Gleiche gilt für den Entwurfsprozess für das erste Bearbeitungswerkzeug **42L**.

Andere Form des Bearbeitungswerkzeugs zum Bearbeiten einer ersten alternativen Form

[0096] In dem vorstehend beschriebenen Beispiel ist der Fall des jeweiligen Schneidens der linken gefasten Zahnflanke **131** und der rechten gefasten Zahnflanke **132**, die die Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitte 120 der Hülse **115** bilden, durch Verwenden von zwei Bearbeitungswerkzeugen **42** (dem ersten Bearbeitungswerkzeug **42L** und dem zweiten Bearbeitungswerkzeug **42R**) beschrieben worden. Die linke gefaste Zahnflanke **131** und die rechte gefaste Zahnflanke **132** können auch durch Verwendung von einem Bearbeitungswerkzeug **42T** in der gleichen Weise wie mit dem einen Bearbeitungswerkzeug **42** geschnitten werden, das die linke verjüngte Zahnflanke **121** und die rechte verjüngte Zahnflanke **122** schneiden kann (siehe **Fig. 19A**, **Fig. 19B** und **Fig. 19C**, die zu **Fig. 16A**, **Fig. 16B** und **Fig. 16C** korrespondieren).

[0097] Auch in dem Fall des Bearbeitungswerkzeugs **42T** muss, in der gleichen Weise wie bei dem ersten Bearbeitungswerkzeug **42L** und dem zweiten Bearbeitungswerkzeug **42R**, das Schneidblatt **42aT** des Bearbeitungswerkzeugs **42T** eine Form haben, die definitiv gestattet, dass die linke gefaste Zahnflanke **131** und die rechte gefaste Zahnflanke **132** ohne Eingreifen mit den benachbarten inneren Zähnen **115a** geschnitten werden, während die inneren Zähne **115a** geschnitten werden. Das Bearbeitungswerkzeug **42T** hat eine Schneidkantenbreite von SaT, einen Torsionswinkel von β_T , einen Zahnflankenabstand an der rechten gefasten Zahnflanke **132** von KT, einen Zahnflankenabstand an der linken gefasten Zahnflanke **131** von MT, einen Schnittwinkel, wenn die rechte gefaste Zahnflanke **132** geschnitten wird, von $\#tr$, und einen Schnittwinkel, wenn die linke gefaste Zahnflanke **131** geschnitten wird, von $\#tf$.

[0098] Das Entwerfen des Bearbeitungswerkzeugs **42T** wird durch den Werkzeugentwurfsteil **102** des Steuergeräts **100** in dem gleichen Prozess durchgeführt, wie der Prozess, der in Verbindung mit **Fig. 13** und **Fig. 15** beschrieben ist, und somit wird eine detaillierte Beschreibung weggelassen. Der Prozess des Werkzeugzustandsberechnungsteils **103** bezüglich des Bearbeitungswerkzeugs **42T** ist der gleiche wie der Prozess, der in Verbindung mit **Fig. 3** beschrieben worden ist, und der Prozess des Bearbeitungssteuerungsteils **101** ist der gleiche wie der Prozess, der in Verbindung mit **Fig. 4** beschrieben worden ist, mit Ausnahme des Punkts, dass ein Werkzeugaustausch nicht durchgeführt wird, und somit wird eine detaillierte Beschreibung weggelassen.

Bearbeitungswerkzeug zum Bearbeiten einer zweiten alternativen Form

[0099] Zuerst wird die zweite alternative Form beschrieben. In dem vorstehend beschriebenen Beispiel ist, wie in **Fig. 21** dargestellt ist, der Synchronisierungsmechanismus 110 beschrieben worden, in dem das Hauptantriebszahnrad 116, das Kupplungszahnrad 117 und der Synchronring 118 an einer Seite der Hülse **115** angeordnet sind. Jedoch hat, wie in **Fig. 37** gezeigt ist, ein Synchronisierungsmechanismus 110A Paare der Hauptantriebszahnrad 116, der Kupplungszahnrad 117 und der Synchronringe 118, die an beiden Seiten

einer Hülse **115Z** angeordnet sind. In **Fig. 37** sind die gleichen Bauteile wie in **Fig. 21** mit den gleichen Bezugszeichen bezeichnet, und eine detaillierte Beschreibung wird weggelassen. Der Betrieb des Synchronisierungsmechanismus 110A, obwohl er eine Bewegung nach links und eine Bewegung nach rechts in **Fig. 37** umfasst, ist der gleiche wie der Betrieb des Synchronisierungsmechanismus 110 in **Fig. 21**, und somit wird eine detaillierte Beschreibung weggelassen.

[0100] Der Synchronisierungsmechanismus 110A ist mit verjüngten Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitten 120B, 120F an den inneren Zähnen **115a** der Hülse **115Z** an einer Seite (nachstehend einfach als „eine Seite Db der Drehachse“ bezeichnet) und der anderen Seite (nachstehend einfach als „die andere Seite Df der Drehachse“ bezeichnet) von sich in der Richtung der Drehachse LL der Hülse **115Z** angeordnet, und mit verjüngten Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitten 117c, 117c, die die Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitte 120B, 120F an die äußeren Zähne 117a, 117a der jeweiligen Kupplungszahnräder 117, wie in **Fig. 38** und **Fig. 39** dargestellt ist, verjüngungspassen, versehen, um ein Loslösen der äußeren Zähne 117a der Kupplungszahnräder 117 und der inneren Zähne **115a** der Hülse **115Z** während eines Fahrens zu verhindern.

[0101] In **Fig. 39** sind nur die äußeren Zähne 117a des Kupplungszahnrads 117 an der Seite des Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitts 120F gezeigt. Die Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitte 120B, 120F in diesem Beispiel sind in einer Punktsymmetrieform mit Bezug auf einen virtuellen Punkt auf einer Mitte an einer oberen Fläche des inneren Zahns **115a** in einer Richtung der Drehachse LL der Hülse **115Z** ausgebildet. In der folgenden Beschreibung wird die Seitenfläche **115A** des inneren Zahns **115a** der Hülse **115Z** an der linken Seite der Zeichnung als „linke Seitenfläche 115A“ bezeichnet und eine Seitenfläche **115B** des inneren Zahns **115a** der Hülse **115Z** an der rechten Seite der Zeichnung wird als „rechte Seitenfläche 115B“ bezeichnet.

[0102] Die linke Seitenfläche **115A** des inneren Zahns **115a** der Hülse **115Z** hat eine linke Zahnflanke **115b** (die der „fünften Zahnflanke“ entspricht), eine Zahnflanke **121f** (nachstehend als „sich an der anderen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke 121f“ bezeichnet, die der „sechsten Zahnflanke“ entspricht), die an der linken Seitenfläche **115A** an der anderen Seite Df der Drehachse vorgesehen ist, um einen von der linken Zahnflanke **115b** unterschiedlichen Torsionswinkel zu haben, und eine Zahnflanke **122b** (nachstehend als „eine sich an der einen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke 122b“ bezeichnet, die einer „siebten Zahnflanke“ entspricht), die an der linken Seitenfläche **115A** an der einen Seite Db der Drehachse vorgesehen ist, um einen von der linken Zahnflanke **115b** unterschiedlichen Torsionswinkel zu haben.

[0103] Die rechte Seitenfläche **115B** des inneren Zahns **115a** der Hülse **115Z** hat eine rechte Zahnflanke **115c** (die der „achten Zahnflanke“ entspricht), eine Zahnflanke **121b** (nachstehend als „sich an der einen Seite befindliche rechte verjüngte Zahnflanke 121b“ bezeichnet, die einer „neunten Zahnflanke“ entspricht), die an der einen Seite Db der Drehachse der rechten Seitenfläche **115B** vorgesehen ist, um einen von der rechten Zahnflanke **115c** unterschiedlichen Torsionswinkel zu haben, und eine Zahnflanke **122b** (nachstehend als „sich an der anderen Seite befindliche rechte verjüngte Zahnflanke 122f“ bezeichnet, die einer „zehnten Zahnflanke“ entspricht), die an der rechten Seitenfläche **115B** an der anderen Seite Df der Drehachse vorgesehen ist, um einen von der rechten Zahnflanke **115c** unterschiedlichen Torsionswinkel zu haben.

[0104] In diesem Beispiel ist der Torsionswinkel der linken Zahnflanken **115b** 0 Grad, und die Torsionswinkel der sich an der anderen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke **121f** und der sich an der einen Seite befindlichen rechten verjüngten Zahnflanke **121b** sind **0f** Grad. Der Torsionswinkel der rechten Zahnflanke **115c** ist 0 Grad und die Torsionswinkel der sich an der einen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke **122b** und der sich an der anderen Seite befindlichen rechten verjüngten Zahnflanke **122f** sind **0b** Grad. Die sich an der anderen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke **121f** und eine Zahnflanke 121af, die die sich an der anderen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke **121f** und die linke Zahnflanke **115b** verbindet (nachstehend als „sich an der anderen Seite befindliche linke Nebenzahnflanke 121af“ bezeichnet), und die sich an der anderen Seite befindliche rechte verjüngte Zahnflanke **122f** und eine Zahnflanke 122af, die die sich an der anderen Seite befindliche rechte verjüngte Zahnflanke **122f** und die rechte Zahnflanke **115c** verbindet (nachstehend als „sich an der anderen Seite befindliche rechte Nebenzahnflanke 122af“ bezeichnet), bilden den Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitt 120F.

[0105] Die sich an der einen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke **122b** und eine Zahnflanke 122ab, die die sich an der einen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke **122b** und die linke Zahnflanke **115b** verbindet (nachstehend als „sich an der einen Seite befindliche linke Nebenzahnflanke 122ab“ bezeichnet), und die sich an der einen Seite befindliche rechte verjüngte Zahnflanke **121b** und eine Zahnflanke 121ab, die die sich an der einen Seite befindliche rechte verjüngte Zahnflanke **121b** und die rechte Zahnflanke **115c** verbindet (nachstehend als „sich an der einen Seite befindliche rechte Nebenzahnflanke 121ab“ bezeichnet), bil-

den den Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitt 120B. Die Zahnradloslösungsverhinderung wird durch eine Verjüngungspassung beziehungsweise Konuspassung zwischen der sich an der anderen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke **121f** und den Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitten 117c und auch durch eine Verjüngungspassung beziehungsweise Konuspassung zwischen der sich an der einen Seite befindlichen rechten verjüngten Zahnflanke **121b** und dem Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitt 117c erreicht.

[0106] Hier können die Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitte 120B, 120F durch Schneiden der inneren Zähne **115a** der Hülse **115Z**, die durch Räumen oder Zahnradformen ausgebildet sind, mit zwei Bearbeitungswerkzeugen ausgebildet werden. Jedoch ist eine positionale Ausrichtung jedes Mal dann, wenn das Werkzeug ausgetauscht wird, und für jedes Werkzeug erfordert, was zu einer verlängerten Bearbeitungszeit und einer geringeren Bearbeitungsgenauigkeit führen kann. Deshalb ist die vorstehend beschriebene Zahnradbearbeitungsvorrichtung **1** gestaltet, um zuerst die inneren Zähne **115a** der Hülse **115Z** durch Räumen, Zahnradformen oder dergleichen auszubilden und dann die Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitte 120F, 120B an den inneren Zähnen **115a** der Hülse **115Z** jeweils durch Schneiden mittels eines Bearbeitungswerkzeugs **42** auszubilden, das zwei Schneidblätter (ein erstes Schneidblatt **42af**, ein zweites Schneidblatt **42ab**, siehe **Fig. 29B**) hat, die später beschrieben werden.

[0107] Mit anderen Worten gesagt werden die Hülse **115Z**, die die inneren Zähne **115a** hat, die an dieser ausgebildet sind, und das Bearbeitungswerkzeug **42** synchron gedreht, und das erste Schneidblatt **42af** des Bearbeitungswerkzeugs **42** wird von der anderen Seite Df der Drehachse zu der einen Seite Db der Drehachse in der Richtung der Drehachse Lw des Werkstücks W voranbewegt, um den Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitt 120F zu schneiden und auszubilden, während das zweite Schneidblatt **42ab** des Bearbeitungswerkzeugs **42** von der einen Seite Db der Drehachse zu der anderen Seite Df der Drehachse in der Richtung der Drehachse Lw des Werkstücks W voranbewegt wird, um den Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitt 120B zu schneiden und auszubilden. Demzufolge ist die positionale Ausrichtung nicht jedes Mal dann, wenn das Werkzeug ausgetauscht wird, und nicht für jedes Werkzeug erfordert, so dass die Bearbeitungszeit, die für die Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitte 120F, 120B erfordert ist, im Vergleich zum Stand der Technik verringert ist und die Bearbeitungsgenauigkeit der Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitte 120F, 120B im Vergleich zum Stand der Technik verbessert ist.

[0108] Das Bearbeitungswerkzeug **42** wird nun beschrieben. Wie in **Fig. 29A** und **Fig. 29B** dargestellt ist, hat das Bearbeitungswerkzeug **42** das erste Werkzeug **42F**, das zweite Werkzeug **42B** und den Bund 44, der zwischen dem ersten Bearbeitungswerkzeug **42F** und dem zweiten Werkzeug **42B** gehalten wird, und in diesem Beispiel haben das erste Bearbeitungswerkzeug **42F** und das zweite Werkzeug **42B** die gleiche Form. Das Bearbeitungswerkzeug **42** hat das erste Werkzeug **42F**, das so angeordnet ist, dass eine Spanfläche 42cf des ersten Schneidblatts **42af** des ersten Werkzeugs **42F** einer Seite des Bearbeitungswerkzeugs **42** in der Richtung der Werkzeugachse (Drehachse) L zugewandt ist, und das zweite Werkzeug **42B**, das so angeordnet ist, dass eine Spanfläche 42cb des zweiten Schneidblatts **42ab** des zweiten Werkzeugs **42B** der anderen Seite des Bearbeitungswerkzeugs **42** in der Richtung der Werkzeugachse L zugewandt ist, und den Bund 44, der zwischen dem ersten Werkzeug **42F** und dem zweiten Werkzeug **42B** angeordnet ist.

[0109] Wie in **Fig. 29A** dargestellt ist, hat das erste Schneidblatt **42af** (das zweite Schneidblatt **42ab**) aus Sicht auf das Bearbeitungswerkzeug **42** von der Seite der Werkzeugendfläche 42M des ersten Werkzeugs **42F** in der Richtung der Werkzeugachse L in diesem Beispiel dieselbe Form wie die Evolventenkurve. Wie in **Fig. 29B** dargestellt ist, haben das erste Schneidblatt **42af** des ersten Werkzeugs **42F** und das zweite Schneidblatt **42ab** des zweiten Werkzeugs **42B** einen Neigungswinkel, der um einen Winkel γ mit Bezug auf eine Ebene senkrecht zu der Werkzeugachse L geneigt ist, an der Seite der Werkzeugendfläche 42M, und einen vorderen Freiwinkel, der um einen Winkel δ mit Bezug auf eine gerade Linie parallel zu der Werkzeugachse L geneigt ist, an einer Seite einer Werkzeugumfangsfläche 42N. Wie in **Fig. 29C** dargestellt ist, haben Blattspuren **42bf** (**42bb**) des ersten Schneidblatts **42af** (des zweiten Schneidblatts **42ab**) einen Torsionswinkel, der um einen Winkel β mit Bezug auf eine gerade Linie parallel zu der Werkzeugachse L geneigt ist.

[0110] Wie in **Fig. 30** dargestellt ist, ist der Bund 44 in einer zylindrischen Form ausgebildet und beide Endflächen des Bunds 44 sind jeweils mit zwei quaderförmigen Rastpassfedern 44a versehen, die sich in der Radialrichtung in Abständen von 180 Grad erstrecken. Wie in **Fig. 31** dargestellt wird, wenn das Bearbeitungswerkzeug **42** an dem Werkzeughalter 45 montiert wird, wird das zweite Werkzeug **42B** an die Werkzeugmontageachse 45a an der distalen Seite eines Werkzeughalters 45 gepasst, wobei das zweite Schneidblatt **42ab** in Richtung zu der Seite des Hauptkörpers 45b des Werkzeughalters 45 zugewandt ist, und dann wird der Bund 44 eingesetzt.

[0111] Im Anschluss wird das erste Werkzeug **42F** eingesetzt, wobei das erste Schneidblatt **42af** einer distalen Endseite (Außenseite) der Werkzeugmontageachse 45a zugewandt ist, und schließlich wird ein Bolzen mit einer Distanzscheibe 45d in einem Schraubenloch 45c befestigt, das an einem distalen Ende der Werkzeugmontageachse 45a vorgesehen ist. Zu dieser Zeit werden die jeweiligen Passfedern 44a des Bunds 44 in Passfedernuten 42ef, die an dem Wellenabschnitt 42df des ersten Werkzeugs **42F** vorgesehen sind, und in die Passfedernuten 42eb gepasst, die an dem Wellenabschnitt 42db des zweiten Werkzeugs **42B** vorgesehen sind. Demzufolge ist ein Drehen des ersten Schneidblatts **42af** des ersten Werkzeugs **42F** und des zweiten Schneidblatts **42ab** des zweiten Werkzeugs **42B** in der gleichen Phase gestattet.

[0112] Der Werkzeughalter 45, der das Bearbeitungswerkzeug **42** hat, das an diesem montiert ist, wird in einen Werkzeugbevorrater der automatischen Werkzeugaustauschvorrichtung aufgenommen, wird aus dem Werkzeugbevorrater mit einem Werkzeugaustauscharm der automatischen Werkzeugaustauschvorrichtung herausgenommen und wird an der Drehhauptspindel 40 angebracht, bevor ein Bearbeiten beginnt. Zu dieser Zeit sind Passfedern 45e, die an dem Werkzeughalter 45 vorgesehen sind, in Passfedernuten 40a gepasst, die an der Drehhauptspindel 40 vorgesehen sind. Obwohl die Passfedern 45e des Werkzeughalters 45 locker in die Passfedernuten 40a der Drehhauptspindel 40 gepasst sind, verschwindet die Lockerheit durch Drehen der Drehhauptspindel 40, während der Werkzeughalter 45, an dem das Bearbeitungswerkzeug **42** angebracht ist, mit dem Werkzeugaustauscharm gehalten wird, so dass die Drehphase des Bearbeitungswerkzeugs **42** mit Bezug auf die Drehhauptspindel 40 festgelegt wird. Im Anschluss wird der Werkzeughalter 45 durch die Drehhauptspindel 40 geklemmt und ein Halten durch den Werkzeugaustauscharm wird gelöst.

[0113] Hier umfassen Beispiele von Verfahren, die zum Schneiden der sich an der anderen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanken **121f** (der sich an der einen Seite befindlichen rechten verjüngten Zahnflanken **121b**) und der sich an der anderen Seite befindlichen rechten verjüngten Zahnflanken **122f** (der sich an der einen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanken **122b**) mit unterschiedlichen Torsionswinkeln mit dem ersten Werkzeug **42F** (dem zweiten Werkzeug **42B**) heranzuziehen sind, ein Verfahren des Verwendens eines Bearbeitungswerkzeugs **42**, das erste Schneidblätter **42af** (zweite Schneidblätter **42ab**) hat, die eine rechte Blattfläche und eine linke Blattfläche mit verschiedenen Torsionswinkeln haben, und ein Verfahren des Verwendens des Bearbeitungswerkzeugs **42**, das erste Schneidblätter **42af** (zweite Schneidblätter **42ab**) hat, die eine linke Blattfläche und eine rechte Blattfläche mit dem gleichen Torsionswinkel haben.

[0114] In diesem Beispiel wird ein Fall beschrieben, in dem das Bearbeitungswerkzeug **42**, das die ersten Schneidblätter **42af** (die zweiten Schneidblätter **42ab**) hat, die die linke Blattfläche und die rechte Blattfläche mit dem gleichen Torsionswinkel haben, zum Schneiden verwendet wird. In diesem Fall müssen der Schnittwinkel **#f** des ersten Werkzeugs **42F** (des zweiten Werkzeugs **42B**) zum Schneiden der sich an der anderen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke **121f** (der sich an der einen Seite befindlichen rechten verjüngten Zahnflanke **121b**) und der Schnittwinkel **#b** des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F** (des zweiten Werkzeugs **42B**) zum Schneiden der sich an der anderen Seite befindlichen rechten verjüngten Zahnflanke **122f** (der sich an der einen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke **122b**) unterschieden werden.

[0115] Das erste Werkzeug **42F** und das zweite Werkzeug **42B** können unter Verwendung eines vorstehend beschriebenen Ausdrucks (1) - (10) (die Suffixe sind verschieden) entworfen werden, so dass eine detaillierte Beschreibung weggelassen wird. Wie soweit beschrieben worden ist und wie in **Fig. 32** dargestellt ist, sind das erste Werkzeug **42F** und das zweite Werkzeug **42B** so entworfen, dass die Blattspuren **42bf** des ersten Schneidblatts **42af** und die Blattspuren **42bb** des zweiten Schneidblatts **42ab** einen Torsionswinkel **β** haben, der von unten links nach oben rechts aus Sicht auf die Werkzeugendfläche 42M nach unten in der Zeichnung von einer Richtung senkrecht zu der Werkzeugachse L geneigt ist.

[0116] Entwürfe des ersten Werkzeugs **42F** und des zweiten Werkzeugs **42B** des Bearbeitungswerkzeugs **42** werden durch den Werkzeugentwurfsteil **102** des Steuergeräts **100** durchgeführt, ein Festlegen des Werkzeugzustands des Bearbeitungswerkzeugs **42** wird durch den Werkzeugzustandsberechnungsteil **103** durchgeführt, und ein Schneiden mit dem Bearbeitungswerkzeug **42** wird durch den Bearbeitungssteuerungsteil **101** durchgeführt. Da der Prozess, der durch den Werkzeugzustandsberechnungsteil **103** durchzuführen ist, der gleiche ist wie bei dem vorstehend beschriebenen Beispiel, wird eine detaillierte Beschreibung weggelassen und der Prozess, der durch den Werkzeugentwurfsteil **102** durchzuführen ist, und der Prozess, der durch den Bearbeitungssteuerungsteil **101** durchzuführen ist, werden in der folgenden Beschreibung beschrieben.

Prozess, der durch den Werkzeugentwurfsteil des Steuergeräts durchzuführen ist

[0117] Im Anschluss wird ein Entwurfsprozess, der durch den Werkzeugentwurfsteil **102** des Steuergeräts **100** an dem ersten Werkzeug **42F** durchzuführen ist, mit Bezug auf **Fig. 27**, **Fig. 33A**, **Fig. 33B**, **Fig. 33C** und **Fig. 33D** beschrieben. Ein Entwurf des zweiten Werkzeugs **42B** ist derselbe wie ein Entwurf des ersten Werkzeugs **42F**, und somit wird eine Beschreibung weggelassen. Es sei angemerkt, dass angenommen wird, dass Daten betreffend die Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitte 120F, das heißt der Torsionswinkel **θf** und die Zahnflankenlinienlänge **ff** der sich an der anderen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke **121f**, die Zahnflankenlinienlänge **gf** und der Zahnflankenabstand **Hf** der sich an der anderen Seite befindlichen linken Nebenzahnflanke 121af, der Torsionswinkel **θb** und die Zahnflankenlinienlänge **fr** der sich an der anderen Seite befindlichen rechten verjüngten Zahnflanke **122f**, und die Zahnflankenlinienlänge **gr** und der Zahnflankenabstand **Hr** der sich an der anderen Seite befindlichen rechten Nebenzahnflanke 122af, im Voraus in dem Speicher **104** gespeichert sind. Darüber hinaus wird angenommen, dass Daten betreffend das erste Werkzeug **42F**, wie die Anzahl von Blättern **Z**, der Schneidkantenkreisdurchmesser **da**, der Referenzkreisdurchmesser **d**, die Zahnkopfhöhe **ha**, der Modul **m**, der Profilverschiebungskoeffizient **λ**, der Druckwinkel **α**, der vordere Druckwinkel **αt** und der Schneidkantendruckwinkel **αa**, im Voraus in dem Speicher **104** gespeichert sind.

[0118] Der Werkzeugentwurfsteil **102** des Steuergeräts **100** lädt den Torsionswinkel **θf** der sich an der anderen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke **121f** aus dem Speicher **104** (Schritt S61 in **Fig. 27**). Dann erhält der Werkzeugentwurfsteil **102** eine Differenz zwischen dem Schnittwinkel **#f** des Bearbeitungswerkzeugs **42**, der durch eine Bedienperson eingegeben wird, wenn die sich an der anderen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke **121f** geschnitten wird, und einem geladenen Torsionswinkel **θf** der sich an der anderen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke **121f** als einen Torsionswinkel **β** der Blattspuren **42bf** des ersten Schneidblatts **42af** des ersten Werkzeugs **42F** (Schritt S62 in **Fig. 27**).

[0119] Der Werkzeugentwurfsteil **102** lädt die Anzahl von Blättern **Z** oder dergleichen des ersten Werkzeugs **42F** aus dem Speicher **104** und erhält die Schneidkantenbreite **Sa** und die Blattdicke **Ta** des ersten Schneidblatts **42af** auf der Basis der Anzahl von Blättern **Z** oder dergleichen des geladenen ersten Werkzeugs **42F** und des Torsionswinkels **β** der Blattspuren **42bf** des ersten Schneidblatts **42af** (Schritt S63 in **Fig. 27**). Der Werkzeugentwurfsteil **102** liest die Zahnflankenlinienlänge **gf** der sich an der anderen Seite befindlichen linken Nebenzahnflanke 121af aus dem Speicher **104** aus und bestimmt, ob die erhaltene Schneidkantenbreite **Sa** des ersten Schneidblatts **42af** größer ist als die Zahnflankenlinienlänge **gf** der sich an der anderen Seite befindlichen linken Nebenzahnflanke 121af (Schritt S64 in **Fig. 27**).

[0120] Wenn die erhaltene Schneidkantenbreite **Sa** des ersten Schneidblatts **42af** gleich wie oder kleiner ist als die Zahnflankenlinienlänge **gf** der sich an der anderen Seite befindlichen linken Nebenzahnflanke 121af, kehrt der Werkzeugentwurfsteil **102** zu Schritt S62 zurück und wiederholt den vorstehend beschriebenen Prozess. Wenn im Gegensatz dazu die Schneidkantenbreite **Sa** des ersten Schneidblatts **42af** auf eine Breite erhöht ist, die größer ist als die Zahnflankenlinienlänge **gf** der sich an der anderen Seite befindlichen linken Nebenzahnflanke 121af, liest der Werkzeugentwurfsteil **102** den Zahnflankenabstand **Hf** aus dem Speicher **104** aus und bestimmt, ob die erhaltene Blattdicke **Ta** des ersten Schneidblatts **42af** kleiner ist als der Zahnflankenabstand **Hf** an der Seite der sich an der anderen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke **121f** oder nicht (Schritt S65 in **Fig. 27**).

[0121] Wenn die erhaltene Blattdicke **Ta** des ersten Schneidblatts **42af** gleich wie oder größer als der Zahnflankenabstand **Hf** an der Seite der sich an der anderen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke **121f** ist, kehrt der Werkzeugentwurfsteil **102** zu Schritt S62 zurück und wiederholt den vorstehend beschriebenen Prozess. Wenn im Gegensatz dazu die Blattdicke **Ta** des ersten Schneidblatts **42af** kleiner wird als der Zahnflankenabstand **Hf** an der Seite der sich an der anderen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke **121f**, liest der Werkzeugentwurfsteil **102** einen Torsionswinkel **θb** der sich an der anderen Seite befindlichen rechten verjüngten Zahnflanke **122f** aus dem Speicher **104** aus (Schritt S66 in **Fig. 27**). Dann erhält der Werkzeugentwurfsteil **102** eine Differenz zwischen dem Torsionswinkel **β** der Blattspuren **42bf** des ersten Schneidblatts **42af** des ersten Werkzeugs **42F**, der in Schritt S2 erhalten wird, und dem geladenen Torsionswinkel **θb** der sich an der anderen Seite befindlichen rechten verjüngten Zahnflanke **122f** als einen Schnittwinkel **#b** des Bearbeitungswerkzeugs **42**, wenn die sich an der anderen Seite befindliche rechte verjüngte Zahnflanke **122f** geschnitten wird (Schritt S67 in **Fig. 27**).

[0122] Der Werkzeugentwurfsteil **102** liest die Zahnflankenlinienlänge **gr** der sich an der anderen Seite befindlichen rechten Nebenzahnflanke 122af aus dem Speicher **104** aus und bestimmt, ob die erhaltene Schneidkantenbreite **Sa** des ersten Schneidblatts **42af**, die in Schritt S33 erhalten wird, größer ist als die Zahnflan-

kenlinienlänge gr der sich an der anderen Seite befindlichen rechten Nebenzahnflanke 122af (Schritt S68 in **Fig. 27**). Wenn die erhaltene Schneidkantenbreite Sa gleich wie oder kleiner als die Zahnflankenlinienlänge gr der sich an der anderen Seite befindlichen rechten Nebenzahnflanke 122af ist, kehrt der Werkzeugentwurfsteil **102** zu Schritt S62 zurück und wiederholt den vorstehend beschriebenen Prozess. Wenn im Gegensatz dazu die Schneidkantenbreite Sa auf eine Breite erhöht ist, die größer ist als die Zahnflankenlinienlänge gr der sich an der anderen Seite befindlichen rechten Nebenzahnflanke 122af, liest der Werkzeugentwurfsteil **102** den Zahnflankenabstand Hr aus dem Speicher **104** aus und bestimmt, ob die erhaltene Blattdicke Ta kleiner ist als der Zahnflankenabstand Hr an der Seite der sich an der anderen Seite befindlichen rechten verjüngten Zahnflanke **122f** oder nicht (Schritt S69 in **Fig. 27**).

[0123] Wenn die Blattdicke Ta gleich wie oder größer als der Zahnflankenabstand Hr an der Seite der sich an der anderen Seite befindlichen rechten verjüngten Zahnflanke **122f** ist, kehrt der Werkzeugentwurfsteil **102** zu Schritt S62 zurück und wiederholt den vorstehend beschriebenen Prozess. Wenn im Gegensatz dazu die Blattdicke Ta auf eine Dicke verringert ist, die kleiner ist als der Zahnflankenabstand Hr an der sich an der anderen Seite befindlichen rechten verjüngten Zahnflanke **122f**, bestimmt der Werkzeugentwurfsteil **102** die Form des ersten Werkzeugs **42F** auf der Basis des erhaltenen Torsionswinkels β der Blattspuren **42bf** des ersten Schneidblatts **42af** (Schritt S70 in **Fig. 27**), speichert die bestimmten Formdaten des ersten Werkzeugs **42F** in dem Speicher **104** (Schritt S71 in **Fig. 27**) und beendet den gesamten Prozess. Demzufolge wird das erste Werkzeug **42F** entworfen, das das optimale erste Schneidblatt **42af** hat (das zweite Werkzeug **42B**, das das zweite Schneidblatt **42ab** hat).

Prozess, der durch den Bearbeitungssteuerungsteil des Steuergeräts durchzuführen ist

[0124] Mit Bezug auf **Fig. 28A** und **Fig. 28B** wird nun der Prozess beschrieben, der durch den Bearbeitungssteuerungsteil **101** des Steuergeräts **100** durchzuführen ist. Es wird hier angenommen, dass eine Bedienperson das erste Werkzeug **42F** und das zweite Werkzeug **42B** auf der Basis der jeweiligen Formdaten des ersten Werkzeugs **42F** und des zweiten Werkzeugs **42B**, die von dem Werkzeugentwurfsteil **102** entworfen sind, herstellt, diese an dem Werkzeughalter 45 montiert und diese in dem Werkzeugbevorrater der automatischen Werkzeugaustauschvorrichtung der Zahnradbearbeitungsvorrichtung **1** unterbringt. Es wird auch angenommen, dass die Hülse **115Z** an dem Werkstückhalter 80 der Zahnradbearbeitungsvorrichtung **1** montiert ist und dass die inneren Zähne **115a** durch Drehen, Räumen oder dergleichen ausgebildet werden.

[0125] Der Bearbeitungssteuerungsteil **101** des Steuergeräts **100** tauscht das Bearbeitungswerkzeug des vorherigen Bearbeitungsschritts (Drehen oder Räumen, etc.) mit dem Bearbeitungswerkzeug **42** mit der automatischen Werkzeugaustauschvorrichtung aus (Schritt S81 in **Fig. 28A**). Dann platziert der Bearbeitungssteuerungsteil **101** das Bearbeitungswerkzeug **42** und die Hülse **115Z** so, dass ein Werkzeugzustand des Bearbeitungswerkzeugs **42** zum Bearbeiten der sich an der anderen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke **121f** der Hülse **115Z**, der durch den Werkzeugzustandsberechnungsteil **103** erhalten wird, erreicht wird (Schritt S82 in **Fig. 28A**). Im Speziellen sind, wie in **Fig. 33B** dargestellt ist, das Bearbeitungswerkzeug **42** und die Hülse **115Z** so angeordnet, dass das erste Werkzeug **42F** des Bearbeitungswerkzeugs **42**, das durch die Drehhauptspindel 40 gehalten wird, der Hülse **115Z** zugewandt ist, die durch den Werkstückhalter 80 gehalten wird, und dass das Bearbeitungswerkzeug **42** bei einer axialen Position (beispielsweise Versatzbetrag 0) und einem Schnittwinkel $\#f$, der durch das Bearbeitungswerkzeug **42** heranzuziehen ist, wenn die sich an der anderen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke **121f** ausgebildet wird, platziert ist, die durch den Werkzeugzustandsberechnungsteil **103** erhalten werden.

[0126] Der Bearbeitungssteuerungsteil **101** bewegt das Bearbeitungswerkzeug **42** in die Richtung der Drehachse Lw der Hülse **115Z** voran, so dass sich die Seite des ersten Werkzeugs **42F** in Richtung zu der Hülse **115Z** bewegt, während das Bearbeitungswerkzeug **42** synchron mit der Hülse **115Z** gedreht wird, und den inneren Zahn **115a** schneidet, um die sich an der anderen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke **121f** einschließlich der sich an der anderen Seite befindlichen linken Nebenzahnflanke 121af an dem inneren Zahn **115a** auszubilden (Schritt S83 in **Fig. 28A**).

[0127] Mit anderen Worten gesagt bildet, wie in **Fig. 34A** bis **Fig. 34C** dargestellt ist, das erste Werkzeug **42F** die sich an der anderen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke **121f** einschließlich der sich an der anderen Seite befindlichen linken Nebenzahnflanke 121af an den inneren Zähnen **115a** durch einen einmaligen oder mehrmaligen Schneidbetrieb in der Richtung der Drehachse Lw der Hülse **115Z** aus. Das erste Werkzeug **42F** zu dieser Zeit muss einen Voranbewegungsbetrieb und einen Zurückbewegungsbetrieb in der entgegengesetzten Richtung von dem Voranbewegungsbetrieb durchführen. Wie in **Fig. 34C** dargestellt ist, ist jedoch der Umkehrbetrieb mit einer Trägheitskraft verknüpft. Deshalb endet der Voranbewegungsbetrieb

des ersten Werkzeugs **42F** an einem Punkt Q, der um einen vorbestimmten Betrag kürzer ist als die Zahnflankenlinienlänge ff der sich an der anderen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke **121f**, die die sich an der anderen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke **121f** einschließlich der sich an der anderen Seite befindlichen linken Nebenzahnflanke 121af ausbilden kann, und wechselt zu dem Zurückbewegungsbetrieb. Der Voranbewegungsendpunkt Q kann durch Messung mit einem Sensor oder dergleichen erhalten werden. Falls jedoch der Voranbewegungsbetrag ausreichend genau mit Bezug auf die erforderte Bearbeitungsgenauigkeit ist, ist eine Messung nicht notwendig und ein Punkt Q kann durch den Voranbewegungsbetrag eingestellt werden. Mit anderen Worten gesagt wird eine genaue Bearbeitung durch eine Schneidarbeit erreicht, während der Voranbewegungsbetrag so eingestellt wird, dass eine Bearbeitung bis zu dem Punkt Q gewährleistet wird.

[0128] Dann, wenn ein Schneiden der sich an der anderen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke **121f** abgeschlossen ist (Schritt S84 in **Fig. 28A**), platziert der Bearbeitungssteuerungsteil **101** das Bearbeitungswerkzeug **42** und die Hülse **115Z** so, dass ein Werkzeugzustand des Bearbeitungswerkzeugs **42** zum Bearbeiten der sich an der anderen Seite befindlichen rechten verjüngten Zahnflanke **122f** der Hülse **115Z**, der durch den Werkzeugzustandsberechnungsteil **103** erhalten wird, erreicht wird (Schritt S85 in **Fig. 28A**). Im Speziellen werden, wie in **Fig. 33D** dargestellt ist, das Bearbeitungswerkzeug **42** und die Hülse **115Z** so angeordnet, dass das erste Werkzeug **42F** des Bearbeitungswerkzeugs **42**, das durch die Drehhauptspindel 40 gehalten wird, der Hülse **115Z** zugewandt ist, die durch den Werkstückhalter 80 gehalten ist, und dass das Bearbeitungswerkzeug **42** bei einer axialen Position (beispielsweise Versatzbetrag 0) und bei einem Schnittwinkel **#b**, der durch das Bearbeitungswerkzeug **42** heranzuziehen ist, wenn die sich an der anderen Seite befindliche rechte verjüngte Zahnflanke **122f** ausgebildet wird, platziert ist, die durch den Werkzeugzustandsberechnungsteil **103** erhalten werden.

[0129] Der Bearbeitungssteuerungsteil **101** bewegt das Bearbeitungswerkzeug **42** in die Richtung der Drehachse Lw der Hülse **115Z** so voran, dass sich die Seite des ersten Werkzeugs **42F** in Richtung zu der Hülse **115Z** bewegt, während das Bearbeitungswerkzeug **42** synchron mit der Hülse **115Z** gedreht wird, und schneidet den inneren Zahn **115a**, um die sich an der anderen Seite befindliche rechte verjüngte Zahnflanke **122f** einschließlich der sich an der anderen Seite befindlichen rechten Nebenzahnflanke 122af an dem inneren Zahn **115a** auszubilden (Schritt S86 in **Fig. 28A**).

[0130] Wenn das Schneiden der sich an der anderen Seite befindlichen rechten verjüngten Zahnflanke **122f** abgeschlossen ist (Schritt S87 in **Fig. 28A**), bestimmt der Bearbeitungssteuerungsteil **101**, ob ein Bearbeiten des Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitts 120B an einer Seite der Hülse **115Z** abgeschlossen ist oder nicht (Schritt S88 in **Fig. 28A**). Wenn der Bearbeitungssteuerungsteil **101** bestimmt, dass ein Bearbeiten des Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitts 120B an einer Seite der Hülse **115Z** abgeschlossen ist, beendet der Bearbeitungssteuerungsteil **101** alle Prozesse. Wenn im Gegensatz dazu der Bearbeitungssteuerungsteil **101** bestimmt, dass ein Bearbeiten des Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitts 120B an einer Seite der Hülse **115Z** nicht abgeschlossen ist, bewegt der Bearbeitungssteuerungsteil **101** das Bearbeitungswerkzeug **42** in die Richtung der Drehachse Lw der Hülse **115Z** voran, um durch den Innenumfang der Hülse **115Z** hindurchzugehen (Schritt S89 in **Fig. 28A**), und der Ablauf geht zu Schritt S90 in **Fig. 28B**.

[0131] Dann platziert der Bearbeitungssteuerungsteil **101** das Bearbeitungswerkzeug **42** und die Hülse **115Z** so, dass ein Werkzeugzustand des Bearbeitungswerkzeugs **42** zum Bearbeiten der sich an der einen Seite befindlichen rechten verjüngten Zahnflanke **121b** der Hülse **115Z**, der durch den Werkzeugzustandsberechnungsteil **103** erhalten wird, erreicht wird (Schritt S90 in **Fig. 28B**). Im Speziellen werden, wie in **Fig. 35A** dargestellt ist, das Bearbeitungswerkzeug **42** und die Hülse **115Z** so angeordnet, dass das zweite Werkzeug **42B** des Bearbeitungswerkzeugs **42**, das durch die Drehhauptspindel 40 gehalten wird, der Hülse **115Z** zugewandt ist, die durch den Werkstückhalter 80 gehalten wird, und dass das Bearbeitungswerkzeug **42** bei einer axialen Position (beispielsweise Versatzbetrag 0) und einem Schnittwinkel **#f**, der durch das Bearbeitungswerkzeug **42** heranzuziehen ist, wenn die sich an einer Seite befindliche rechte verjüngte Zahnflanke **121b** ausgebildet wird, platziert ist, die durch den Werkzeugzustandsberechnungsteil **103** erhalten werden.

[0132] Der Bearbeitungssteuerungsteil **101** bewegt das Bearbeitungswerkzeug **42** in der Richtung der Drehachse Lw der Hülse **115Z** so zurück, dass sich die Seite des zweiten Werkzeugs **42B** in Richtung zu der Hülse **115Z** bewegt, während das Bearbeitungswerkzeug **42** synchron mit der Hülse **115Z** gedreht wird, und schneidet den inneren Zahn **115a**, um die sich an der einen Seite befindliche rechte verjüngte Zahnflanke **121b** einschließlich der sich an der einen Seite befindlichen rechten Nebenzahnflanke 121ab an dem inneren Zahn **115a** auszubilden (Schritt S91 in **Fig. 28B**).

[0133] Mit anderen Worten gesagt bildet das zweite Werkzeug **42B**, wie in **Fig. 36A** bis **Fig. 36C** dargestellt ist, die sich an der einen Seite befindliche rechte verjüngte Zahnflanke **121b** einschließlich der sich an der einen Seite befindlichen rechten Nebenzahnflanke 121ab an den inneren Zähnen **115a** durch einen einmaligen oder mehrmaligen Schneidbetrieb in der Richtung der Drehachse Lw der Hülse **115Z** aus. Das zweite Werkzeug **42B** zu dieser Zeit muss einen Zurückkbewegungsbetrieb und einen Voranbewegungsbetrieb durchführen. Wie jedoch in **Fig. 36C** dargestellt ist, ist der Umkehrbetrieb mit einer Trägheitskraft verknüpft. Deshalb endet der Zurückbewegungsbetrieb des zweiten Werkzeugs **42B** an einem Punkt R, der um einen vorbestimmten Betrag kürzer ist als die Zahnflankenlinienlänge ff der sich an der einen Seite befindlichen rechten verjüngten Zahnflanke **121b**, und der die sich an der einen Seite befindliche rechte verjüngte Zahnflanke **121b** einschließlich der sich an der einen Seite befindlichen rechten Nebenzahnflanke 121ab ausbilden kann, und wechselt in den Voranbewegungsbetrieb. Der Zurückbewegungsendpunkt R kann durch Messung mit einem Sensor oder dergleichen erhalten werden. Falls jedoch der Voranbewegungsbetrag ausreichend genau mit Bezug auf die erforderliche Bearbeitungsgenauigkeit ist, ist eine Messung nicht notwendig, und ein Punkt R kann durch den Voranbewegungsbetrag eingestellt werden. Mit anderen Worten gesagt wird eine genaue Bearbeitung durch eine Schneidarbeit erreicht, während der Voranbewegungsbetrag so eingestellt wird, dass eine Bearbeitung bis zu dem Punkt R gewährleistet wird.

[0134] Dann, wenn ein Schneiden der sich an der einen Seite befindlichen rechten verjüngten Zahnflanke **121b** abgeschlossen ist (Schritt S92 in **Fig. 28B**), platziert der Bearbeitungssteuerungsteil **101** das Bearbeitungswerkzeug **42** und die Hülse **115Z** so, dass ein Werkzeugzustand des Bearbeitungswerkzeugs **42** zum Bearbeiten der sich an der einen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke **122b** der Hülse **115Z**, der durch den Werkzeugzustandsberechnungsteil **103** erhalten wird, erreicht wird (Schritt S93 in **Fig. 28B**). Im Speziellen werden, wie in **Fig. 35B** dargestellt ist, das Bearbeitungswerkzeug **42** und die Hülse **115Z** so angeordnet, dass das zweite Werkzeug **42B** des Bearbeitungswerkzeugs **42**, das durch die Drehhauptspindel 40 gehalten wird, der Hülse **115Z** zugewandt ist, die durch den Werkstückhalter 80 gehalten wird, und dass das Bearbeitungswerkzeug **42** bei einer axialen Position (beispielsweise Versatzbetrag 0) und bei einem Schnittwinkel **#b**, der durch das Bearbeitungswerkzeug **42** heranzuziehen ist, wenn die sich an der einen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke **122b** ausgebildet wird, platziert ist, die durch den Werkzeugzustandsberechnungsteil **103** erhalten werden.

[0135] Der Bearbeitungssteuerungsteil **101** bewegt das Bearbeitungswerkzeug **42** in der Richtung der Drehachse Lw der Hülse **115Z** so zurück, dass sich die Seite des zweiten Werkzeugs **42B** in Richtung zu der Hülse **115Z** bewegt, während das Bearbeitungswerkzeug **42** synchron mit der Hülse **115Z** gedreht wird, und schneidet den inneren Zahn **115a**, um die sich an der einen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke **122b** einschließlich der sich an der einen Seite befindlichen linken Nebenzahnflanke 122ab an dem inneren Zahn **115a** auszubilden (Schritt S94 in **Fig. 28B**). Wenn das Schneiden der sich an der einen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke **122b** abgeschlossen ist (Schritt S95 in **Fig. 28B**), bestimmt der Bearbeitungssteuerungsteil **101**, ob ein Bearbeiten des Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitts 120F an der anderen Seite der Hülse **115Z** abgeschlossen ist oder nicht (Schritt S96 in **Fig. 28B**).

[0136] Wenn im Gegensatz dazu der Bearbeitungssteuerungsteil **101** bestimmt, dass eine Bearbeitung des Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitts 120F an der anderen Seite der Hülse **115Z** nicht abgeschlossen ist, bewegt der Bearbeitungssteuerungsteil **101** das Bearbeitungswerkzeug **42** in die Richtung der Drehachse Lw der Hülse **115Z** voran, um durch den Innenumfang der Hülse **115Z** hindurchzugehen (Schritt S97 von **Fig. 28B**), und dann geht der Ablauf zu Schritt S82 in **Fig. 28A**. Wenn im Gegensatz dazu der Bearbeitungssteuerungsteil **101** bestimmt, dass eine Bearbeitung des Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitts 120F an der anderen Seite der Hülse **115Z** abgeschlossen ist, beendet der Bearbeitungssteuerungsteil **101** alle Prozesse.

Weiteres

[0137] In den vorstehend beschriebenen Beispielen ist der Fall beschrieben worden, in dem die Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitte 120 an den bereits bearbeiteten inneren Zähnen **115a** der Hülse **115**, **115Z** durch Schneiden mittels der Bearbeitungswerkzeuge **42F**, **42G**, **42** ausgebildet werden. Jedoch können die Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitte 120 durch Rohbearbeiten der bereits bearbeiteten inneren Zähne **115a** der Hülse **115**, **115Z** durch Rollen, während ein Endbearbeitungsaufmaß zurückgelassen wird, und anschließendes Endbearbeiten durch Schneiden des Endbearbeitungsaufmaßes mit den Bearbeitungswerkzeugen **42F**, **42G**, **42** ausgebildet werden. Das Gleiche gilt für die Bearbeitungswerkzeuge **42L**, **42R**, **42T**.

[0138] In diesem Fall werden, wie in **Fig. 20** dargestellt ist, Grate v um die Zahnradlösungsverhinderungsabschnitte 120 herum ausgebildet, die durch Rollen ausgebildet sind, aber die Grate v können zusammen mit dem Endbearbeitungsaufmaß w (Abschnitte außerhalb von Strichpunktlinien in der Zeichnung) durch eine Endbearbeitungsarbeit mittels der Bearbeitungswerkzeuge **42F**, **42G**, **42** entfernt werden. Deshalb können die Bearbeitungswerkzeuge **42F**, **42G**, **42** die linke verjüngte Zahnflanke **121** einschließlich der linken Nebenzahnflanke 121a und die rechte verjüngte Zahnflanke **122** einschließlich der rechten Nebenzahnflanke 122a mit einem hohen Genauigkeitsgrad schneiden. Das Gleiche gilt für die Bearbeitungswerkzeuge **42L**, **42R**, **42T**. Das Gleiche gilt für die Zahnradlösungsverhinderungsabschnitte 120F, 120B.

[0139] In dem vorstehend beschriebenen Beispiel ist der Fall beschrieben worden, in dem die inneren Zähne **115a** der Hülsen **115**, **115Z** durch Räumen, Zahnradformen oder dergleichen ausgebildet werden. Jedoch können alle inneren Zähne **115a** der Hülsen **115**, **115Z** und die Zahnradlösungsverhinderungsabschnitte 120, 120F, 120B durch Schneiden mittels der Bearbeitungswerkzeuge **42F**, **42G**, **42** ausgebildet werden. Das Gleiche gilt für die Bearbeitungswerkzeuge **42L**, **42R**, **42T**. Obwohl der Fall des Bearbeitens der inneren Zähne beschrieben worden ist, ist ein Bearbeiten von äußeren Zähnen auch möglich.

[0140] Obwohl das Werkstück als die Hülsen **115**, **115Z** des Synchronisierungsmechanismus 110, 110A beschrieben worden ist, kann das Werkstück auch solch ein Bauteil sein, das Zähne für einen Eingriff hat, wie Zahnräder, oder solch ein Bauteil sein, das eine zylindrische Form oder eine Scheibenform haben, und eine Vielzahl von Zahnflanken (eine Vielzahl von verschiedenen Zahnspuren (Zahnformen (Zahnköpfe, Zahnfüße)) können an einem oder beiden von einem Innenumfang (innere Zähne) und einem Außenumfang (äußere Zähne) bearbeitet werden. Sich kontinuierlich ändernde Zahnspuren, die Zahnformen (Zahnköpfe, Zahnfüße) wie Balligkeit und Hinterdrehen, können auch in der gleichen Weise bearbeitet werden, und ein optimaler (guter Zustand) Eingriff wird erreicht.

[0141] In den vorstehend beschriebenen Beispielen werden das erste Werkzeug **42F** und das zweite Werkzeug **42B** separat ausgebildet, und der Bund 44 wird zwischen dem ersten Werkzeug **42F** und dem zweiten Werkzeug **42B** gehalten, um das Bearbeitungswerkzeug **42** zu bilden. Jedoch ist das Bearbeitungswerkzeug **42**, das das erste Schneidblatt **42af** und das zweite Schneidblatt **42ab** als ein vereinigtes Bearbeitungswerkzeug **42** hat, auch anwendbar. Demzufolge ist die Montage des Bearbeitungswerkzeugs **42** an dem Werkzeughalter 45 erleichtert.

[0142] In dem vorstehend beschriebenen Beispiel kann die Zahnradbearbeitungsvorrichtung **1**, die ein Fünf-Achsen-Bearbeitungszentrum ist, die Hülsen **115**, **115Z** um die A-Achse drehen. Im Gegensatz dazu kann das Fünf-Achsen-Bearbeitungszentrum gestaltet sein, um die Bearbeitungswerkzeuge **42F**, **42R**, **42**, **42L**, **42R**, **42T** um die A-Achse als ein vertikales Bearbeitungszentrum drehen zu können. Obwohl der Fall des Anwendens der Erfindung auf das Bearbeitungszentrum beschrieben worden ist, gilt das Gleiche für eine Maschine, die für eine Zahnradbearbeitung spezifisch ist.

Vorteilhafte Wirkung des Ausführungsbeispiels

[0143] Die Zahnradbearbeitungsvorrichtung **1** dieses Ausführungsbeispiels ist die Zahnradbearbeitungsvorrichtung **1**, die ein Bearbeitungswerkzeug **42F** (**42G**, **42**, **42L**, **42R**, **42T**) hat, das zum Bearbeiten eines Zahnrads zu verwenden ist, wobei das Bearbeitungswerkzeug **42F** (**42G**, **42**, **42L**, **42R**, **42T**) eine Drehachse L hat, die mit Bezug auf eine Drehachse L_w eines Werkstücks **115** geneigt ist und relativ in der Richtung der Drehachse L_w des Werkstücks (Hülse **115**) voranbewegt wird, während es synchron mit dem Werkstück **115** gedreht wird, wobei ein Zahnradzahn **115a** Seitenflächen **115A** (**115B**) mit einer ersten Zahnflanke **115b** (**115c**) und einer zweiten Zahnflanke **121** (**122**, **131**, **132**) mit einem sich von der ersten Zahnflanke **115b** (**115c**) unterscheidenden Torsionswinkel hat, wobei das Bearbeitungswerkzeug **42F** (**42G**, **42**, **42L**, **42R**, **42T**) ein Schneidblatt **42af** (**42ag**, **42a**, **42aL**, **42aR**, **42aT**) hat, und das Schneidblatt **42af** (**42ag**, **42a**, **42aL**, **42aR**, **42aT**) hat Blattspuren **42bf** (**42bg**, **42b**, **42bL**, **42bR**, **42bT**) mit einem Torsionswinkel βf (βg , β , βL , βR , βT), der auf der Basis des Torsionswinkels θf (θr , θL , θR) der zweiten Zahnflanke **121** (**122**, **131**, **132**) und eines Schnittwinkels $\#f$ ($\#g$, $\#ff$, $\#rr$, $\#L$, ϕP , $\#tr$, $\#tf$) zwischen der Drehachse L_w des Werkstücks **115** und der Drehachse L des Bearbeitungswerkzeugs **42F** (**42G**, **42**, **42L**, **42R**, **42T**) bestimmt ist, um eine Bearbeitung der zweiten Zahnflanke **121** (**122**, **131**, **132**) an der vorbearbeiteten ersten Zahnflanke **115b** (**115c**) zu gestatten.

[0144] Im Stand der Technik wird der Zahnradzahn, der die erste Zahnflanke **115b** (**115c**) und die zweite Zahnflanke **121** (**122**, **131**, **132**) bei unterschiedlichen Torsionswinkeln hat, durch plastisches Formen an der vorbearbeiteten ersten Zahnflanke **115b** (**115c**) ausgebildet, um die zweite Zahnflanke **121** (**122**, **131**, **132**)

auszubilden. Deshalb existiert ein Problem des Verringerns einer Bearbeitungsgenauigkeit der zweiten Zahnflanke **121 (122, 131, 132)**. Bei der Zahnradbearbeitungsvorrichtung **1** wird jedoch, da die zweite Zahnflanke **121 (122, 131, 132)** an der ersten Zahnflanke **115b (115c)** durch Schneiden ausgebildet wird, ein hoher Genauigkeitsgrad erreicht.

[0145] Die Seitenflächen **115A** an einer Seite des Zahnradzahns (**115a**) haben die erste Zahnflanke **115b** und die zweite Zahnflanke **121 (131)**, die den von der ersten Zahnflanke **115b** unterschiedlichen Torsionswinkel hat, die Seitenflächen **115B** an der anderen Seite des Zahnradzahns **115a** haben eine dritte Zahnflanke **115c** und eine vierte Zahnflanke **122 (132)**, die einen von der dritten Zahnflanke **115c** unterschiedlichen Torsionswinkel hat, das Bearbeitungswerkzeug umfasst ein erstes Bearbeitungswerkzeug **42F (42L)** und ein zweites Bearbeitungswerkzeug **42G (42R)**, wobei die Blattspuren **42bf (42bL)** des Schneidblatts **42af (42aL)** des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F (42L)** einen Torsionswinkel β_f (β_L) haben, der auf der Basis des Torsionswinkels θ_f (θ_L) der zweiten Zahnflanke **121 (131)** und eines Schnittwinkels $\#f$ ($\#L$) zwischen der Drehachse (Lw) des Werkstücks **15** und einer Drehachse (L) des ersten Bearbeitungswerkzeugs **42F (42L)** bestimmt ist, um eine Bearbeitung der zweiten Zahnflanke **121 (131)** an der vorbereiteten ersten Zahnflanke **115b** zu gestatten, und die Blattspuren **42bg (42bR)** des Schneidblatts **42ag (42aR)** des zweiten Bearbeitungswerkzeugs **42G (42R)** haben einen Torsionswinkel β_g (β_R), der auf der Basis des Torsionswinkels θ_r (θ_R) der vierten Zahnflanke **122 (132)** und des Schnittwinkels $\#g$ ($\#R$) zwischen der Drehachse Lw des Werkstücks **115** und der Drehachse Lw des zweiten Bearbeitungswerkzeugs **42G (42R)** bestimmt ist, um eine Bearbeitung der vierten Zahnflanke **122 (132)** an der vorbereiteten dritten Zahnflanke **115c** zu gestatten.

[0146] Demzufolge kann, da die erste Zahnflanke **115b (115c)** und die zweite Zahnflanke **121 (131)** sowie die dritte Zahnflanke **115c** und die vierte Zahnflanke **122 (132)** durch Schneiden mit dem ersten Bearbeitungswerkzeug **42F (42L)** und dem zweiten Bearbeitungswerkzeug **42G (42R)** ausgebildet werden können, selbst obwohl die Torsionswinkel unterschiedlich sind, eine Bearbeitungseffizienz verbessert werden.

[0147] Die Seitenflächen **115A** an einer Seite des Zahnradzahns **115a** haben die erste Zahnflanke **115b** und die zweite Zahnflanke **121 (131)**, die den von der ersten Zahnflanke **115b** unterschiedlichen Torsionswinkel hat, die Seitenflächen **115B** an der anderen Seite des Zahnradzahns **115a** haben eine dritte Zahnflanke **115c** und eine vierte Zahnflanke **122 (132)**, die einen von der dritten Zahnflanke **115c** unterschiedlichen Torsionswinkel hat, die Blattspuren **42b (42bT)** an einer Seite des Schneidblatts **42a (42aT)** des Bearbeitungswerkzeugs **42 (42T)** haben einen Torsionswinkel β (β_T), der auf der Basis des Torsionswinkels θ_f (θ_L) der zweiten Zahnflanke **121 (131)** und eines Schnittwinkels $\#ff$ ($\#tf$) für die zweite Zahnflanke zwischen der Drehachse Lw des Werkstücks **115** und der Drehachse L des Bearbeitungswerkzeugs **42 (42T)** bestimmt ist, um eine Bearbeitung der zweiten Zahnflanke **121 (131)** an der vorbereiteten ersten Zahnflanke **115b** zu gestatten, und die Blattspuren **42b (42bT)** an der anderen Seite des Schneidblatts **42a (42aT)** des Bearbeitungswerkzeugs **42 (42T)** haben den gleichen Torsionswinkel β (β_T) wie die Blattspuren **42b (42bT)** an der einen Seite des Schneidblatts **42a (42aT)** des Bearbeitungswerkzeugs **42 (42T)**, und das Bearbeitungswerkzeug **42 (42T)** ist auf einen Schnittwinkel $\#ff$ ($\#tf$) für die zweite Zahnflanke festgelegt, wenn die zweite Zahnflanke **121 (131)** an der vorbereiteten ersten Zahnflanke **115b** bearbeitet wird, und ist auf einen Schnittwinkel $\#rr$ ($\#tr$) für die vierte Zahnflanke, der auf der Basis eines Torsionswinkels θ_r (θ_R) der vierten Zahnflanke **122** und des Torsionswinkels β (β_T) der Blattspuren **42b (42bT)** des Schneidblatts **42a (42aT)** an der anderen Seite des Bearbeitungswerkzeugs **42 (42T)** bestimmt ist, festgelegt, wenn die vierte Zahnflanke **122 (132)** an der vorbereiteten dritten Zahnflanke **115c** bearbeitet wird.

[0148] Demzufolge ist, da die erste Zahnflanke **115b** und die zweite Zahnflanke **121 (131)** sowie die dritte Zahnflanke **115c** und die vierte Zahnflanke **122 (132)** durch Schneiden mit einem Bearbeitungswerkzeug **42 (42T)** ausgebildet werden können, selbst obwohl die Torsionswinkel unterschiedlich sind, ein Austausch des Werkzeugs nicht notwendig und eine Bearbeitungseffizienz kann signifikant verbessert werden.

[0149] Die zweite Zahnflanke **121 (131)** und die vierte Zahnflanke **122 (132)** werden durch plastisches Formen rohbearbeitet, und das Bearbeitungswerkzeug **42F, 42G, 42 (42L, 42R, 42T)** entfernt einen Grat, der an der zweiten Zahnflanke **121 (131)** und der vierten Zahnflanke **122 (132)** erzeugt wird, wenn die zweite Zahnflanke **121 (131)** und die vierte Zahnflanke **122 (132)** endbearbeitet werden.

[0150] Das Zahnrad ist eine Hülse **115** des Synchronisierungsmechanismus, und die Zahnflanken **121 (131)** und **122 (132)**, die unterschiedliche Torsionswinkel haben, sind Zahnflanken der Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitte **120**, die in den Innenumfangszähnen der Hülse **115** vorgesehen sind. Demzufolge wird, da eine Bearbeitungsgenauigkeit der zweiten Zahnflanke **121 (131)** und der vierten Zahnflanke **122 (132)**, die die Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitte **120** bilden, durch ein Schneiden erhöht ist, ein Loslösen eines

Zahnrad zuverlässig verhindert. Die Zahnflanken der Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitte 120, die an den Zähnen **115a** der Hülse **115** vorgesehen sind, sind gefaste Zahnflanken **131**, **132**, die an den Endflächen der Zähne **115a** der Hülse vorgesehen sind, und die verjüngten Zahnflanken **121**, **122**, die sich von den gefasten Zahnflanken **131**, **132** fortsetzen. Ein sanfter Zahnradeingriff wird durch die gefasten Zahnflanken **131**, **132** erreicht und ein Loslösen der verjüngten Zahnflanken **121**, **122** wird zuverlässig verhindert.

[0151] Eine Zahnradbearbeitungsvorrichtung **1** hat: ein Bearbeitungswerkzeug **42**, das zum Bearbeiten eines Zahnrads zu verwenden ist, wobei das Bearbeitungswerkzeug **42** eine Drehachse L hat, die mit Bezug auf eine Drehachse (Lw) eines Werkstücks (Hülse **115Z**) geneigt ist, wobei das Bearbeitungswerkzeug **42** in der Richtung der Drehachse L des Werkstücks **115Z** relativ voranbewegt wird, während es synchron mit dem Werkstück **115Z** gedreht wird, wobei ein Zahnradzahn **115a** die linke Seitenfläche **115A** und die rechte Seitenfläche **115B** (Seitenflächen) hat, die eine Vielzahl von Zahnflanken einschließt, die sich an der anderen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke **121f**, der sich an der einen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke **122b**, der sich an der anderen Seite befindlichen rechten verjüngten Zahnflanke **122f**, der sich an der einen Seite befindlichen rechten verjüngten Zahnflanke **121b** (Nebenzahnflanke) mit Torsionswinkeln, die sich von der linken Zahnflanke **115b** und der rechten Zahnflanke **115c** (Hauptzahnflanken) an der linken Seitenfläche **115A** und der rechten Seitenfläche **115B** (Seitenflächen) unterscheiden, an einer Seite und der anderen Seite des Werkstücks **115** in der Richtung der Drehachse Lw haben, und wobei das Bearbeitungswerkzeug **42** das erste Schneidblatt **42af** mit der Spanfläche 42cf, die einer Seite der Richtung der Drehachse L des Bearbeitungswerkzeugs **42** zugewandt ist, und das zweite Schneidblatt **42ab** hat, das die Spanfläche 42cb hat, die der anderen Seite der Drehachse L des Bearbeitungswerkzeugs **42** zugewandt ist.

[0152] Das erste Schneidblatt **42af** wird zum Bearbeiten der sich an der anderen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke **121f** und der sich an der anderen Seite befindlichen rechten verjüngten Zahnflanke **122f** (Nebenzahnflanke) verwendet, die an der anderen Seite des Werkstücks **115Z** in der Richtung der Drehachse Lw vorgesehen ist, durch Bewegen des Bearbeitungswerkzeugs **42** relativ mit Bezug auf das Werkstück **115Z** zu der anderen Seite des Werkstücks **115Z** in der Richtung der Drehachse Lw, und das zweite Schneidblatt **42ab** wird zum Bearbeiten der sich an der einen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke **122b** und der sich an der einen Seite befindlichen rechten verjüngten Zahnflanke **121b** (Nebenzahnflanke) verwendet, die an der einen Seite des Werkstücks **115Z** in der Richtung der Drehachse Lw vorgesehen sind, durch Bewegen des Bearbeitungswerkzeugs **42** relativ mit Bezug auf das Werkstück **115Z** zu der einen Seite des Werkstücks **115Z** in der Richtung der Drehachse Lw.

[0153] Demzufolge ist, da die Zahnradbearbeitungsvorrichtung **1** die sich an der anderen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke **121f**, die sich an der anderen Seite befindliche rechte verjüngte Zahnflanke **122f**, die sich an der einen Seite befindliche rechte verjüngte Zahnflanke **121b** und die sich an der einen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke **122b** (eine Vielzahl von Zahnflanken) mit unterschiedlichen Torsionswinkeln an beiden Endflächenseiten des Werkstücks **115Z** mit einem Bearbeitungswerkzeug **42** ausbilden kann, ein Austausch oder eine positionale Ausrichtung der zwei Bearbeitungswerkzeuge, die gewöhnlich erfordert waren, nicht länger notwendig, und eine Verbesserung einer Bearbeitungseffizienz und eine Verbesserung einer Bearbeitungsgenauigkeit werden erreicht.

[0154] Die Blattspuren **42bf** des ersten Schneidblatts **42af** und die Blattspuren **42bb** des zweiten Schneidblatts **42ab** haben den gleichen Torsionswinkel β . Deshalb können die Kosten für die Werkzeuge verringert werden. Darüber hinaus können Zahnflanken mit unterschiedlichen Torsionswinkeln nur durch Ändern des Schnittwinkels des Bearbeitungswerkzeugs **42** ausgebildet werden.

[0155] Des Weiteren hat bei einem Zahnradbearbeitungsverfahren zum Bearbeiten eines Zahnrads mit den Bearbeitungswerkzeugen **42F** (**42G**, **42**, **42L**, **42R**, **42T**) der Zahn **115a** des Zahnrads **115** die Seitenfläche **115A** (**115B**) mit der ersten Zahnflanke **115b** (**115c**) und der zweiten Zahnflanke **121** (**122**), die einen von der ersten Zahnflanke **115b** (**115c**) unterschiedlichen Torsionswinkel hat, und die Blattspuren **42bf** (**42bg**, **42b**, **42bL**, **42bR**, **42bT**) des Schneidblatts **42af** (**42ag**, **42a**, **42aL**, **42aR**, **42aT**) der Bearbeitungswerkzeuge **42F** (**42G**, **42**, **42L**, **42R**, **42T**) haben einen Torsionswinkel β_f (β_g , β , β_L , β_R , β_T), der auf der Basis des Torsionswinkels θ_f (θ_r , θ_L , θ_R) der zweiten Zahnflanke **121** (**122**, **131**, **132**) und des Schnittwinkels $\#f$ ($\#g$, $\#ff$, $\#rr$, $\#L$, $\#R$, $\#tr$, $\#tf$) zwischen der Drehachse Lw des Werkstücks **115** und der Drehachse L der Bearbeitungswerkzeuge **42F** (**42G**, **42**, **42L**, **42R**, **42T**) bestimmt ist, um eine Bearbeitung der zweiten Zahnflanke **121** (**122**, **131**, **132**) an der vorbearbeiteten ersten Zahnflanke **115b** (**115c**) zu gestatten, wobei das Zahnradbearbeitungsverfahren folgende Schritte hat: einen Schnitt des Neigens der Drehachse L der Bearbeitungswerkzeuge **42F** (**42G**, **42**, **42L**, **42R**, **42T**) mit Bezug auf die Drehachse Lw des Werkstücks **115**, und einen Schritt des Bearbeitens der zweiten Zahnflanke **121** (**122**, **131**, **132**) durch Voranbewegen der Bearbeitungswerkzeuge **42F** (**42G**, **42**, **42L**,

42R, 42T) mit Bezug auf das Werkstück **115** in die Richtung der Drehachse Lw, während es synchron mit dem Werkstück **115** gedreht wird. Demzufolge werden die gleichen vorteilhaften Effekte wie bei der vorstehend beschriebenen Zahnradbearbeitungsvorrichtung **1** erreicht.

[0156] Des Weiteren ist ein Zahnradbearbeitungsverfahren zum Schneiden eines Zahnrads mit dem Bearbeitungswerkzeug **42** vorgesehen, das die Drehachse L hat, die mit Bezug auf die Drehachse Lw des Werkstücks **115Z** geneigt ist, wobei die linke Seitenfläche **115A** und die rechte Seitenfläche **115B** (Seitenflächen) des Zahnradzahns jeweils eine Vielzahl von Zahnflanken einschließlic der sich an der anderen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke **121f**, der sich an der einen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke **122b**, der sich an der anderen Seite befindlichen rechten verjüngten Zahnflanke **122f**, der sich an der einen Seite befindlichen rechten verjüngten Zahnflanke **121b** (Nebenzahnflanke) mit Torsionswinkeln, die sich von der linken Zahnflanke **115b** und der rechten Zahnflanke **115c** (Hauptzahnflanken) unterscheiden, an einer Seite und der anderen Seite der linken Seitenfläche **115A** und der rechten Seitenfläche **115B** (Seitenflächen) in der Richtung der Drehachse Lw des Zahnrads haben, und das Bearbeitungswerkzeug **42** hat das erste Schneidblatt **42af** mit der Spanfläche 42cf, die einer Seite der Richtung der Drehachse L des Bearbeitungswerkzeugs **42** zugewandt ist, und das zweite Schneidblatt **42ab**, das die Spanfläche 42cb hat, die der anderen Seite der Drehachse L des Bearbeitungswerkzeugs **42** zugewandt ist.

[0157] Das Zahnradbearbeitungsverfahren hat einen ersten Schritt zum Bewegen des Bearbeitungswerkzeugs **42** an der anderen Seite des Werkstücks **115Z** in der Richtung der Drehachse Lw relativ mit Bezug auf das Werkstück **115Z** in die Richtung der Drehachse Lw, während es synchron mit dem Werkstück **115Z** gedreht wird, um die sich an der anderen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke **121f** und die sich an der anderen Seite befindliche rechte verjüngte Zahnflanke **122f** (Nebenzahnflanke), die an der anderen Seite des Werkstücks **115Z** in der Richtung der Drehachse Lw vorzusehen ist, mit dem ersten Schneidblatt **42af** zu bearbeiten, und einen zweiten Schritt zum Bewegen des Bearbeitungswerkzeugs **42** an der einen Seite des Werkstücks **115Z** in der Richtung der Drehachse Lw relativ mit Bezug auf das Werkstück **115Z** in die Richtung der Drehachse Lw, während es synchron mit dem Werkstück **115Z** gedreht wird, um die sich an der einen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke **122b** und die sich an der einen Seite befindliche rechte verjüngte Zahnflanke **121b** (Nebenzahnflanke), die an der einen Seite des Werkstücks **115Z** in der Richtung der Drehachse Lw vorzusehen sind, mit dem zweiten Schneidblatt **42ab** zu bearbeiten. Demzufolge können die gleichen vorteilhaften Effekte wie mit der vorstehend beschriebenen Zahnradbearbeitungsvorrichtung **1** erreicht werden.

[0158] Die linke Seitenfläche **115A** und die rechte Seitenfläche **115B** (Seitenflächen) des Zahns **115a** des Zahnrads haben die linke Zahnflanke **115b** (fünfte Zahnflanke) als eine Hauptzahnflanke, die sich an der anderen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke **121f** (sechste Zahnflanke), die eine Nebenzahnflanke ist, die an der linken Zahnflanke **115b** (fünften Zahnflanke) an der anderen Seite des Werkstücks **115** in der Richtung der Drehachse Lw vorgesehen ist, und die sich an der einen Seite befindliche linke verjüngte Nebenzahnflanke **122b** (siebte Zahnflanke), die an der linken Zahnflanke **115b** (fünften Zahnflanke) an einer Seite des Werkstücks **115Z** in der Richtung der Drehachse Lw vorgesehen ist, die Blattspuren **42bf** des ersten Schneidblatts **42af** haben einen Torsionswinkel β , der auf der Basis des Torsionswinkels θf der sich an der anderen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke **121f** (sechsten Zahnflanke) und eines Schnittwinkels $\#f$ zwischen der Drehachse Lw des Werkstücks **115Z** und der Drehachse L des Bearbeitungswerkzeugs **42** bestimmt ist, um eine Bearbeitung der sich an der anderen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke **121f** (sechsten Zahnflanke) an der vorbereiteten linken Zahnflanke **115b** (fünften Zahnflanke) zu gestatten, und die Blattspuren **42bb** des zweiten Schneidblatts **42ab** haben einen Torsionswinkel β , der auf der Basis des Torsionswinkels θb der sich an der einen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke **122b** (siebten Zahnflanke) und eines Schnittwinkels $\#b$ zwischen der Drehachse Lw des Werkstücks **115Z** und der Drehachse L des Bearbeitungswerkzeugs **42** bestimmt ist, um ein Bearbeiten der sich an der einen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke **122b** (siebten Zahnflanke) an der vorbereiteten linken Zahnflanke **115b** (fünften Zahnflanke) zu gestatten.

[0159] Demzufolge kann das erste Schneidblatt **42af** in eine Form entworfen werden, die nicht mit dem Zahn **115a** benachbart zu der linken Zahnflanke **115b** (fünften Zahnflanke) eingreift, die zu bearbeiten ist, wenn die sich an der anderen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke **121f** (sechste Zahnflanke) bearbeitet wird, und das zweite Schneidblatt **42ab** kann in eine Form entworfen werden, die nicht mit dem Zahn **115a** benachbart zu der linken Zahnflanke **115b** (fünften Zahnflanke) eingreift, die zu bearbeiten ist, wenn die sich an der einen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke **122b** (siebte Zahnflanke) bearbeitet wird.

[0160] Die linke Seitenfläche **115A** (Seitenfläche an einer Seite) des Zahns **115a** des Zahnrads hat die linke Hauptzahnflanke **115b** (fünfte Zahnflanke), die sich an der anderen Seite befindliche linke verjüngte Neben-

zahnflanke **121f** (sechste Zahnflanke), die an der linken Zahnflanke **115b** (fünften Zahnflanke) an einer Seite des Werkstücks **115Z** in der Richtung der Drehachse Lw vorgesehen ist, und die sich an der einen Seite befindliche linke verjüngte Nebenzahnflanke **122b** (siebte Zahnflanke), die an der linken Zahnflanke **115b** (fünften Zahnflanke) an der anderen Seite des Werkstücks **115Z** in der Richtung der Drehachse Lw vorgesehen ist, und die rechte Seitenfläche **115B** (Seitenfläche an der anderen Seite) des Zahnradzahns hat die rechte Hauptzahnflanke **115c** (achte Zahnflanke), die sich an der einen Seite befindliche rechte verjüngte Nebenzahnflanke **121b** (neunte Zahnflanke), die an der rechten Zahnflanke **115c** (achten Zahnflanke) an einer Seite des Werkstücks **115** in der Richtung der Drehachse Lw vorgesehen ist, und die sich an der anderen Seite befindliche rechte verjüngte Nebenzahnflanke **122f** (zehnte Zahnflanke), die an der rechten Zahnflanke **115c** (achten Zahnflanke) an der anderen Seite des Werkstücks **115** in der Richtung der Drehachse Lw vorgesehen ist.

[0161] Die Blattspuren **42bf** an einer Seite des ersten Schneidblatts **42af** haben einen Torsionswinkel β , der auf der Basis des Torsionswinkels θf der sich an der anderen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke **121f** (sechsten Zahnflanke) und eines Schnittwinkels $\#f$ für die sechste Zahnflanke **121f** zwischen der Drehachse Lw des Werkstücks **115Z** und der Drehachse L des Bearbeitungswerkzeugs **42** bestimmt ist, um eine Bearbeitung der sich an der anderen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke **121f** (sechsten Zahnflanke) an der vorbereiteten linken Zahnflanke **115b** (fünften Zahnflanke) zu gestatten, und die Blattspuren **42bf** an der anderen Seite des ersten Schneidblatts **42af** haben den gleichen Torsionswinkel β der Blattspuren **42bf** an einer Seite des ersten Schneidblatts **42af**, die Blattspuren **42bb** an einer Seite des zweiten Schneidblatts **42ab** haben einen Torsionswinkel β , der auf der Basis des Torsionswinkels θb der sich an der einen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke **122b** (siebten Zahnflanke) und eines Schnittwinkels $\#b$ für die sich an der einen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke **122b** (siebte Zahnflanke) zwischen der Drehachse Lw des Werkstücks **115Z** und der Drehachse L des Bearbeitungswerkzeugs **42** bestimmt ist, um eine Bearbeitung der sich an der einen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke **122b** (siebten Zahnflanke) an der vorbereiteten linken Zahnflanke **115b** (fünften Zahnflanke) zu gestatten, und die Blattspuren **42bb** an der anderen Seite des zweiten Schneidblatts **42ab** haben den gleichen Torsionswinkel β wie der Torsionswinkel β der Blattspuren **42bb** an einer Seite des zweiten Schneidblatts **42ab**.

[0162] Das Bearbeitungswerkzeug **42** ist auf einen Schnittwinkel $\#f$ für die sich an der anderen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke **121f** (sechste Zahnflanke) festgelegt, wenn die sich an der anderen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke **121f** (sechste Zahnflanke) mit dem ersten Schneidblatt **42af** an der vorbereiteten linken Zahnflanke **115b** (fünften Zahnflanke) bearbeitet wird, ist auf einen Schnittwinkel $\#b$ für die sich an der anderen Seite befindliche rechte verjüngte Zahnflanke **122f** (zehnte Zahnflanke) festgelegt, der auf der Basis des Torsionswinkels θb der sich an der anderen Seite befindlichen rechten verjüngten Zahnflanke **122f** (zehnten Zahnflanke) und des Torsionswinkels β der Blattspuren **42bf** an der anderen Seite des ersten Schneidblatts **42af** bestimmt ist, wenn die sich an der anderen Seite befindliche rechte verjüngte Zahnflanke **122f** (zehnte Zahnflanke) mit dem ersten Schneidblatt **42af** an der vorbereiteten rechten Zahnflanke **115c** (achten Zahnflanke) bearbeitet wird, und das Bearbeitungswerkzeug **42** ist auf den Schnittwinkel $\#b$ für die sich an der einen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke **122b** (siebte Zahnflanke) festgelegt, wenn die sich an der einen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke **122b** (siebte Zahnflanke) an der vorbereiteten linken Zahnflanke **115b** (fünften Zahnflanke) mit dem zweiten Schneidblatt **42ab** bearbeitet wird, und ist auf den Schnittwinkel $\#f$ für die sich an der einen Seite befindliche rechte verjüngte Zahnflanke **121b** (neunte Zahnflanke) festgelegt, der auf der Basis des Torsionswinkels θf der sich an der einen Seite befindlichen rechten verjüngten Zahnflanke **121b** (neunten Zahnflanke) und des Torsionswinkels β der Blattspuren **42bb** an der anderen Seite des zweiten Schneidblatts **42ab** bestimmt ist, wenn die sich an der einen Seite befindliche rechte verjüngte Zahnflanke **121b** (neunte Zahnflanke) mit dem zweiten Schneidblatt **42ab** an der vorbereiteten rechten Zahnflanke **115c** (achten Zahnflanke) bearbeitet wird.

[0163] Demzufolge kann das erste Schneidblatt **42af** in eine Form entworfen werden, die nicht mit dem Zahn **115a** benachbart zu der linken Zahnflanke **115b** (fünften Zahnflanke), die zu bearbeiten ist, eingreift, wenn die sich an der anderen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke **121f** (sechste Zahnflanke) bearbeitet wird, und kann auch in eine Form entworfen werden, die nicht mit dem Zahn **115a** benachbart zu der rechten Zahnflanke **115c** (achten Zahnflanke), die zu bearbeiten ist, eingreift, wenn die sich an der anderen Seite befindliche rechte verjüngte Zahnflanke **122f** (zehnte Zahnflanke) bearbeitet wird. Das zweite Schneidblatt **42ab** kann in eine Form entworfen werden, die nicht mit dem Zahn **115a** benachbart zu der linken Zahnflanke **115b** (fünften Zahnflanke), die zu bearbeiten ist, eingreift, wenn die sich an der einen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke **122b** (siebte Zahnflanke) bearbeitet wird, und kann in eine Form entworfen werden, die nicht mit dem Zahn **115a** benachbart zu der rechten Zahnflanke **115c** (achten Zahnflanke), die zu bearbeiten ist, eingreift, wenn die sich an der einen Seite befindliche rechte verjüngte Zahnflanke **121b** (neunte Zahnflanke) bearbeitet wird.

[0164] Darüber hinaus ist das Zahnrad die Hülse **115Z** des Synchronisierungsmechanismus 110A, und die Nebenzahnflanken sind die sich an der anderen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke **121f**, die sich an der einen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke **122b**, die sich an der anderen Seite befindliche rechte verjüngte Zahnflanke **122f** und die sich an der einen Seite befindliche rechte verjüngte Zahnflanke **121b** (Zahnflanken) der Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitte 120F, 120B, die an inneren Zähnen der Hülse **115Z** vorgesehen sind. Demzufolge wird eine Bearbeitungsgenauigkeit der sich an der anderen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke **121f**, der sich an der einen Seite befindlichen linken verjüngten Zahnflanke **122b**, der sich an der anderen Seite befindlichen rechten verjüngten Zahnflanke **122f** und der sich an der einen Seite befindlichen rechten verjüngten Zahnflanke **121b** (Zahnflanken), die die Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitte 120F, 120B bilden, durch Schneiden erhöht, so dass ein Loslösen des Zahnrads zuverlässig verhindert wird.

Bezugszeichenliste

1:	Zahnradbearbeitungsvorrichtung
42F, 42G, 42, 42L, 42R, 42T:	Bearbeitungswerkzeug
42af, 42ag, 42a, 42aL, 42aR, 42aT:	Schneidblatt
42bf, 42bg, 42b, 42bL, 42bR, 42bT:	Blattspuren
42F:	erstes Werkzeug
42B:	zweites Werkzeug
42af:	erstes Schneidblatt
42ab:	zweites Schneidblatt
42bf, 42bb:	Blattspuren
100:	Steuergerät
101:	Bearbeitungssteuerungsteil
102:	Werkzeugentwurfsteil
103:	Werkzeugzustandsberechnungsteil
104:	Speicher
115, 115Z:	Hülse (Werkstück)
121:	linke verjüngte Zahnflanke
122:	rechte verjüngte Zahnflanke
131:	linke gefaste Zahnflanke
132:	rechte gefaste Zahnflanke
115a:	Zahn
115A:	linke Seitenfläche
115B:	rechte Seitenfläche
115b:	linke Zahnflanke (Hauptzahnflanke)
115c:	rechte Zahnflanke (Hauptzahnflanke)
121f:	sich an der anderen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke (Nebenzahnflanke)
122f:	sich an der anderen Seite befindliche rechte verjüngte Zahnflanke (Nebenzahnflanke)
121b:	sich an der einen Seite befindliche rechte verjüngte Zahnflanke (Nebenzahnflanke)

122b:	sich an der einen Seite befindliche linke verjüngte Zahnflanke (Nebenzahnflanke)
β_f, β_g, β, β_L, β_R, β_T:	Torsionswinkel der Blattspuren
θ_f, θ_r, θ_L, θ_R, θ_b:	Torsionswinkel der Zahnflanke
ϕ_f , ϕ_g , ϕ_{ff} , ϕ_{rr} , ϕ_L , ϕ_R , ϕ_{tr} ,	Schnittwinkel.
ϕ_{tf} , ϕ_b :	

[0165] Aufgabe: Eine Zahnradbearbeitungsvorrichtung und ein Zahnradbearbeitungsverfahren vorzusehen, die ein Bearbeiten von Zahnflanken mit verschiedenen Torsionswinkeln mit einem hohen Genauigkeitsgrad erreichen.

[0166] Lösendes Mittel: Bei einer Zahnradbearbeitungsvorrichtung (1) hat eine Seitenfläche (115A) eines Zahns (115a) eines Zahnrad eine erste Zahnflanke (115b) und eine zweite Zahnflanke (121), die einen von der ersten Zahnflanke (115b) unterschiedlichen Torsionswinkel hat, ein Schneidblatt (42af) eines Bearbeitungswerkzeugs (42F) hat Blattspuren (42bf) mit einem Torsionswinkel (β_f), der auf der Basis eines Torsionswinkels (θ_f) der zweiten Zahnflanke (121) und eines Schnittwinkels ($\#f$) zwischen einer Drehachse (Lw) eines Werkstücks (115) und einer Drehachse (L) des Bearbeitungswerkzeugs (42F) bestimmt ist, um eine Bearbeitung der zweiten Zahnflanke (121) an der vorbereiteten ersten Zahnflanke (115b) zu gestatten.

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 2005152940 A [0011]

Patentansprüche

1. Zahnradbearbeitungsvorrichtung (1) mit:
 einem Bearbeitungswerkzeug (42, 42F, 42G, 42L, 42R, 42T), das zum Bearbeiten eines Zahnrads zu verwenden ist, wobei das Bearbeitungswerkzeug eine Drehachse (L) hat, die mit Bezug auf eine Drehachse (Lw) eines Werkstücks (115) geneigt ist, und relativ in der Richtung der Drehachse (Lw) des Werkstücks (115) voranbewegt wird, während es synchron mit dem Werkstück (115) gedreht wird, wobei ein Zahnradzahn (115a) eine Seitenfläche mit einer ersten Zahnflanke (115b) und einer zweiten Zahnflanke (121) hat, die einen von der ersten Zahnflanke (115b) unterschiedlichen Torsionswinkel hat, das Bearbeitungswerkzeug (42, 42F) ein Schneidblatt (42af) hat, und das Schneidblatt (42af) eine Blattspur (42bf, 42bg, 42b, 42bL, 42bR, 42bT) mit einem Torsionswinkel β_f ($\beta_g, \beta, \beta_L, \beta_R, \beta_T$) hat, der auf der Basis des Torsionswinkels θ_f ($\theta_r, \theta_L, \theta_R$) der zweiten Zahnflanke (121, 122, 131, 132) und eines Schnittwinkels ϕ_f ($\phi_g, \phi_{ff}, \phi_{rr}, \phi_L, \phi_R, \phi_{tr}, \phi_{tf}$) zwischen der Drehachse (Lw) des Werkstücks (115) und der Drehachse (L) des Bearbeitungswerkzeugs (42, 42F, 42G, 42L, 42R, 42T) bestimmt ist, um ein Bearbeiten der zweiten Zahnflanke (121, 122, 131, 132) an der vorbearbeiteten ersten Zahnflanke (115b, 115c) zu gestatten.

2. Zahnradbearbeitungsvorrichtung (1) nach Anspruch 1, wobei die Seitenfläche an einer Seite des Zahnradzahns (115a) die erste Zahnflanke (115b) und die zweite Zahnflanke (121) hat, die den von der ersten Zahnflanke (115b) unterschiedlichen Torsionswinkel hat, die Seitenfläche an der anderen Seite des Zahnradzahns (115a) eine dritte Zahnflanke (115c) und eine vierte Zahnflanke (122) hat, die einen von der dritten Zahnflanke (115c) unterschiedlichen Torsionswinkel hat, das Bearbeitungswerkzeug (42) ein erstes Bearbeitungswerkzeug (42F, 42L) und ein zweites Bearbeitungswerkzeug (42G, 42R) umfasst, die Blattspur des Schneidblatts (42af, 42aL) des ersten Bearbeitungswerkzeugs (42F, 42L) einen Torsionswinkel hat, der auf der Basis des Torsionswinkels θ_f ($\theta_r, \theta_L, \theta_R$) der zweiten Zahnflanke (121) und eines Schnittwinkels ϕ_f ($\phi_g, \phi_{ff}, \phi_{rr}, \phi_L, \phi_R, \phi_{tr}, \phi_{tf}$) zwischen der Drehachse (Lw) des Werkstücks (115, 115Z) und einer Drehachse (L) des ersten Bearbeitungswerkzeugs (42F, 42L) bestimmt ist, um ein Bearbeiten der zweiten Zahnflanke (121) an der vorbearbeiteten ersten Zahnflanke (115b) zu gestatten, und die Blattspur des Schneidblatts (42ag, 42aR) des zweiten Bearbeitungswerkzeugs (42G, 42R) einen Torsionswinkel hat, der auf der Basis des Torsionswinkels θ_r (θ_R) der vierten Zahnflanke (122) und des Schnittwinkels ϕ_f ($\phi_g, \phi_{ff}, \phi_{rr}, \phi_L, \phi_R, \phi_{tr}, \phi_{tf}$) zwischen der Drehachse (Lw) des Werkstücks (115, 115Z) und der Drehachse (Lw) des zweiten Bearbeitungswerkzeugs (42G, 42R) bestimmt ist, um ein Bearbeiten der vierten Zahnflanke (122) an der vorbearbeiteten dritten Zahnflanke (115c) zu gestatten.

3. Zahnradbearbeitungsvorrichtung (1) nach Anspruch 1, wobei die Seitenfläche an einer Seite des Zahnradzahns (115a) die erste Zahnflanke (115b) und die zweite Zahnflanke (121) hat, die den von der ersten Zahnflanke (115b) unterschiedlichen Torsionswinkel hat, die Seitenfläche an der anderen Seite des Zahnradzahns (115a) eine dritte Zahnflanke (115c) und eine vierte Zahnflanke (122) hat, die einen von der dritten Zahnflanke (115c) unterschiedlichen Torsionswinkel hat, die Blattspur an einer Seite des Schneidblatts (42af, 42aL) des Bearbeitungswerkzeugs einen Torsionswinkel hat, der auf der Basis des Torsionswinkels θ_f ($\theta_r, \theta_L, \theta_R$) der zweiten Zahnflanke (121) und eines Schnittwinkels ϕ_f ($\phi_g, \phi_{ff}, \phi_{rr}, \phi_L, \phi_R, \phi_{tr}, \phi_{tf}$) für die zweite Zahnflanke zwischen der Drehachse (Lw) des Werkstücks (115, 115Z) und der Drehachse (L) des Bearbeitungswerkzeugs bestimmt ist, um ein Bearbeiten der zweiten Zahnflanke (121) an der vorbearbeiteten ersten Zahnflanke (115b) zu gestatten, und die Blattspur an der anderen Seite des Schneidblatts (42af, 42ag, 42a, 42aL, 42aR, 42aT) des Bearbeitungswerkzeugs (42) den gleichen Torsionswinkel wie die Blattspur an der einen Seite des Schneidblatts (42af, 42ag, 42a, 42aL, 42aR, 42aT) des Bearbeitungswerkzeugs (42) hat, und das Bearbeitungswerkzeug auf einen Schnittwinkel ϕ_f ($\phi_g, \phi_{ff}, \phi_{rr}, \phi_L, \phi_R, \phi_{tr}, \phi_{tf}$) für die zweite Zahnflanke (121) festgelegt ist, wenn die zweite Zahnflanke (121) an der vorbearbeiteten ersten Zahnflanke (115b) bearbeitet wird, und auf einen Schnittwinkel ϕ_f ($\phi_g, \phi_{ff}, \phi_{rr}, \phi_L, \phi_R, \phi_{tr}, \phi_{tf}$) für die vierte Zahnflanke (122), der auf der Basis eines Torsionswinkels θ_r (θ_R) der vierten Zahnflanke (122) und des Torsionswinkels der Blattspur des Schneidblatts an der anderen Seite des Bearbeitungswerkzeugs bestimmt ist, festgelegt ist, wenn die vierte Zahnflanke (122) an der vorbearbeiteten dritten Zahnflanke (115c) bearbeitet wird.

4. Zahnradbearbeitungsvorrichtung (1) nach Anspruch 2 oder 3, wobei die zweite Zahnflanke (121) und die vierte Zahnflanke (122) durch plastisches Formen rohbearbeitet sind, und das Bearbeitungswerkzeug einen Grat entfernt, der an der zweiten Zahnflanke (121) und der vierten Zahnflanke (122) erzeugt ist, wenn die zweite Zahnflanke (121) und die vierte Zahnflanke (122) endbearbeitet werden.

5. Zahnradbearbeitungsvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei

das Zahnrad eine Hülse eines Synchronisierungsmechanismus ist, und die zweite Zahnflanke (121) eine Zahnflanke eines Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitts ist, der an einem inneren Zahn der Hülse vorgesehen ist.

6. Zahnradbearbeitungsvorrichtung (1) nach Anspruch 5, wobei die Zahnflanke des Zahnradloslösungsverhinderungsabschnitts, die an dem inneren Zahn der Hülse vorgesehen ist, eine gefaste Zahnflanke (131, 132), die an einer Endfläche des inneren Zahns der Hülse vorgesehen ist, und eine verjüngte Zahnflanke hat, die sich von der gefasten Zahnflanke (131, 132) fortsetzt.

7. Zahnradbearbeitungsvorrichtung (1) mit:
 einem Bearbeitungswerkzeug (42, 42T), das zum Bearbeiten eines Zahnrads zu verwenden ist, wobei das Bearbeitungswerkzeug (42, 42T) eine Drehachse (L) hat, die mit Bezug auf eine Drehachse (Lw) eines Werkstücks (115, 115Z) geneigt ist, wobei das Bearbeitungswerkzeug (42, 42T) relativ in der Richtung der Drehachse (Lw) des Werkstücks (115, 115Z) voranbewegt wird, während es synchron mit dem Werkstück (115, 115Z) gedreht wird, wobei
 ein Zahnradzahn (115a) eine Seitenfläche mit einer Vielzahl von Nebenzahnflanken, die jeweils von einer Hauptzahnflanke unterschiedliche Torsionswinkel haben, an sich an einer Seite und der anderen Seite des Werkstücks (115, 115Z) in der Richtung der Drehachse hat,
 das Bearbeitungswerkzeug (42, 42T) Folgendes hat: ein erstes Schneidblatt (42af) mit einer Spanfläche, die einer Seite in der Richtung der Drehachse (L) des Bearbeitungswerkzeugs (42, 42T) zugewandt ist; und des Weiteren ein zweites Schneidblatt (42ab) mit einer Spanfläche, die der anderen Seite in der Richtung der Drehachse (L) des Bearbeitungswerkzeugs (42, 42T) zugewandt ist,
 das erste Schneidblatt (42af) zum Bearbeiten der Nebenzahnflanken, die an der anderen Seite des Werkstücks (115, 115Z) in der Richtung der Drehachse (Lw) vorgesehen sind, durch Bewegen des Bearbeitungswerkzeugs (42, 42T) relativ mit Bezug auf das Werkstück (115, 115Z) zu der anderen Seite des Werkstücks (115, 115Z) in der Richtung der Drehachse verwendet wird, und
 das zweite Schneidblatt (42ab) zum Bearbeiten der Nebenzahnflanken, die an der einen Seite des Werkstücks (115, 115Z) in der Richtung der Drehachse (Lw) vorgesehen sind, durch Bewegen des Bearbeitungswerkzeugs (42, 42T) relativ mit Bezug auf das Werkstück (115, 115Z) zu der einen Seite des Werkstücks (115, 115Z) in die Richtung der Drehachse verwendet wird.

8. Zahnradbearbeitungsvorrichtung (1) nach Anspruch 7, wobei die Blattspur des ersten Schneidblatts (42af) und die Blattspur des zweiten Schneidblatts (42ab) den gleichen Torsionswinkel haben.

9. Zahnradbearbeitungsverfahren zum Bearbeiten eines Zahnrads mittels eines Bearbeitungswerkzeugs, wobei
 ein Zahnradzahn (115a) eine Seitenfläche mit einer ersten Zahnflanke und einer zweiten Zahnflanke hat, die einen von der ersten Zahnflanke unterschiedlichen Torsionswinkel hat,
 das Bearbeitungswerkzeug (42F, 42G, 42, 42L, 42R, 42T) ein Schneidblatt hat und das Schneidblatt (42af, 42ag, 42a, 42aL, 42aR, 42aT) eine Blattspur (42bf, 42bg, 42b, 42bL, 42bR, 42bT) mit einem Torsionswinkel ($\beta_f, \beta_g, \beta, \beta_L, \beta_R, \beta_T$) hat, der auf der Basis des Torsionswinkels ($\theta_f, \theta_r, \theta_L, \theta_R$) der zweiten Zahnflanke (121, 122, 131, 132) und eines Schnittwinkels ($\phi_f, \phi_g, \phi_{ff}, \phi_{rr}, \phi_L, \phi_R, \phi_{tr}, \phi_{tf}$) zwischen der Drehachse (Lw) des Werkstücks (115) und der Drehachse (L) des Bearbeitungswerkzeugs (42F, 42G, 42, 42L, 42R, 42T) bestimmt ist, um ein Bearbeiten der zweiten Zahnflanke (121, 122, 131, 132) an der vorbereiteten ersten Zahnflanke (115b, 115c) zu gestatten,
 wobei das Zahnradbearbeitungsverfahren folgende Schritte aufweist:
 einen Schritt des Neigens der Drehachse (L) des Bearbeitungswerkzeugs (42F, 42G, 42, 42L, 42R, 42T) mit Bezug auf die Drehachse (Lw) des Werkstücks (115), und
 einen Schritt des Bearbeitens der zweiten Zahnflanke (121) durch Voranbewegen des Bearbeitungswerkzeugs (42F, 42G, 42, 42L, 42R, 42T) relativ mit Bezug auf das Werkstück (115) in der Richtung der Drehachse (L), während es synchron mit dem Werkstück (115) gedreht wird.

10. Zahnradbearbeitungsverfahren zum Schneiden eines Zahnrads mittels des Bearbeitungswerkzeugs (42, 42T), das eine Drehachse (L) hat, die mit Bezug auf eine Drehachse (Lw) eines Werkstücks (115, 115Z) geneigt ist, wobei
 ein Zahnradzahn (115a) eine Seitenfläche mit einer Vielzahl von Nebenzahnflanken, die jeweils von einer Hauptzahnflanke unterschiedliche Torsionswinkel haben, an einer Seite und der anderen Seite des Werkstücks (115, 115Z) in der Richtung der Drehachse hat,
 das Bearbeitungswerkzeug (42, 42T) Folgendes hat: ein erstes Schneidblatt (42af) mit einer Spanfläche, die einer Seite in der Richtung der Drehachse (L) des Bearbeitungswerkzeugs (42, 42T) zugewandt ist; und des

Weiteren ein zweites Schneidblatt (42ab) mit einer Spanfläche, die der anderen Seite in der Richtung der Drehachse (L) des Bearbeitungswerkzeugs (42, 42T) zugewandt ist,

wobei das Zahnradbearbeitungsverfahren die folgenden Schritte aufweist:

einen ersten Schritt des Bearbeitens der Nebenzahnflanken, die an der anderen Seite des Werkstücks (115, 115Z) in der Richtung der Drehachse (Lw) vorgesehen sind, mit dem ersten Schneidblatt (42af) durch Bewegen des Bearbeitungswerkzeugs (42, 42T) in die Richtung der Drehachse (Lw) des Werkstücks an der anderen Seite des Werkstücks (115, 115Z) in der Richtung der Drehachse relativ mit Bezug auf das Werkstück (115, 115Z) in der Richtung der Drehachse (L), während das Bearbeitungswerkzeug (42, 42T) synchron mit dem Werkstück (115, 115Z) gedreht wird; und

einen zweiten Schritt des Bearbeitens der Nebenzahnflanken, die an der einen Seite des Werkstücks (115, 115Z) in der Richtung der Drehachse (Lw) vorgesehen sind, mit dem zweiten Schneidblatt (42ab) durch Bewegen des Bearbeitungswerkzeugs (42, 42T) in die Richtung der Drehachse (Lw) des Werkstücks an der einen Seite des Werkstücks (115, 115Z) in der Richtung der Drehachse (L) relativ mit Bezug auf das Werkstück (115, 115Z), während das Bearbeitungswerkzeug (42, 42T) synchron mit dem Werkstück (115, 115Z) gedreht wird.

Es folgen 36 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG.1

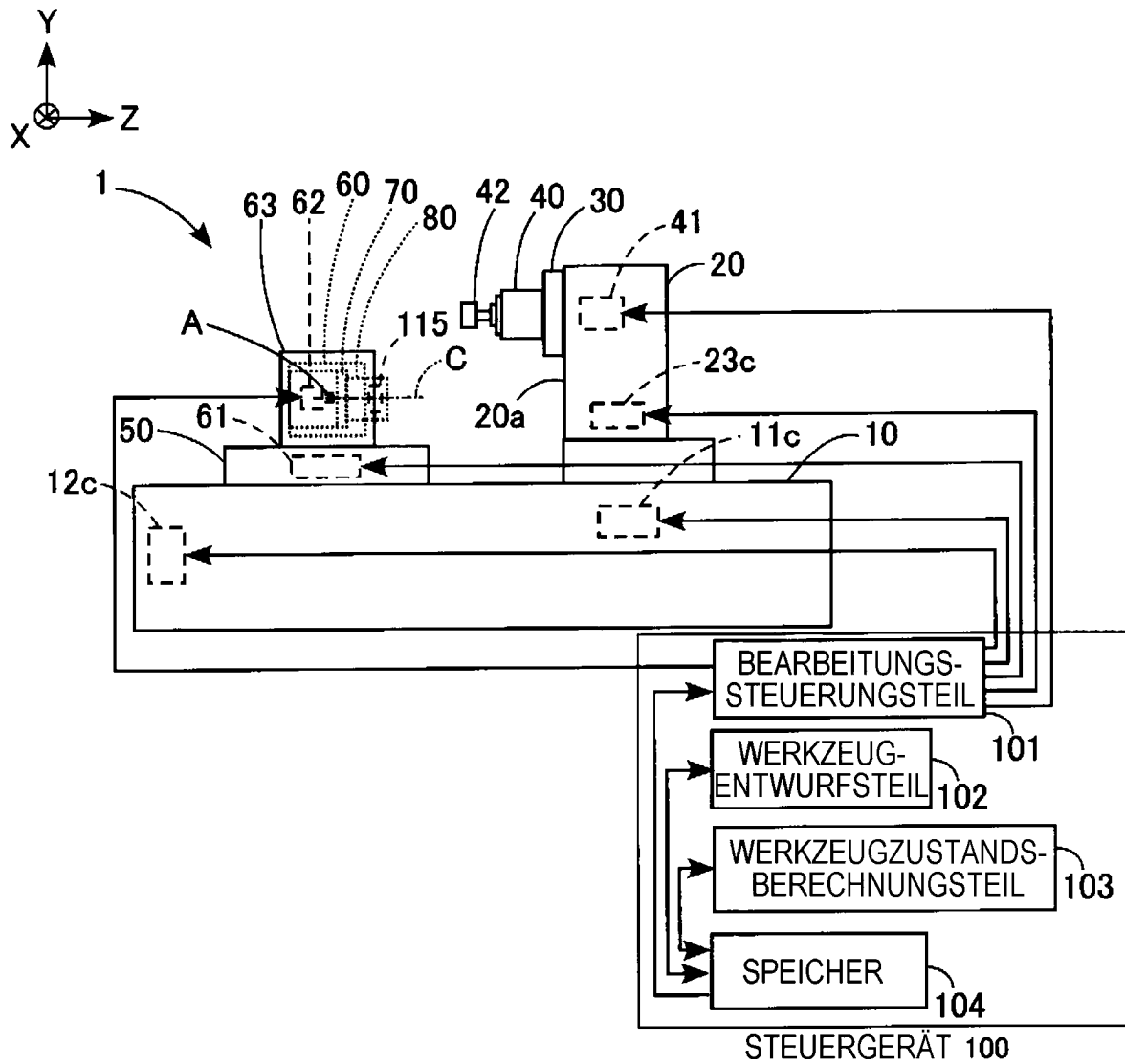


FIG.2

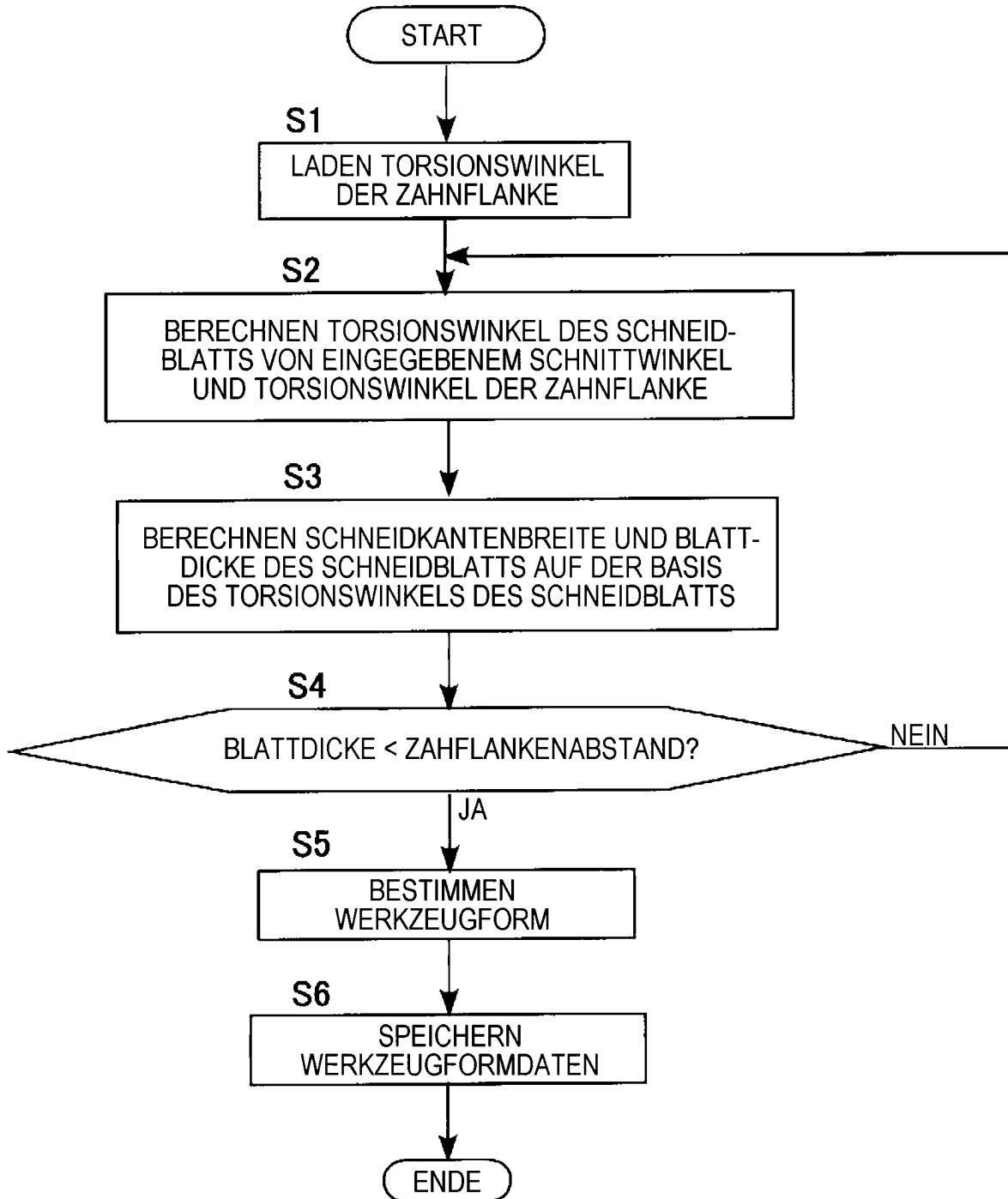


FIG.3

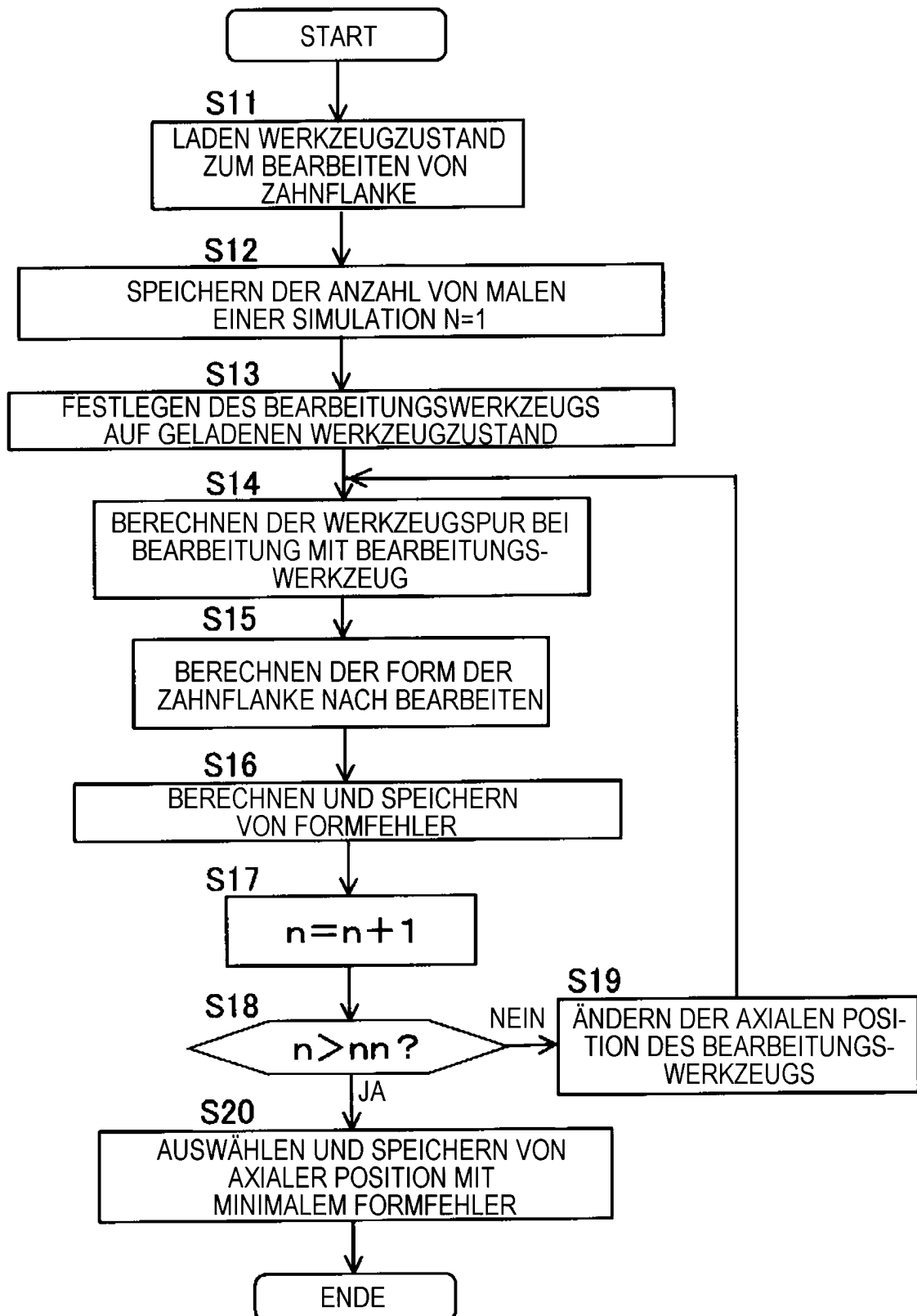


FIG.4

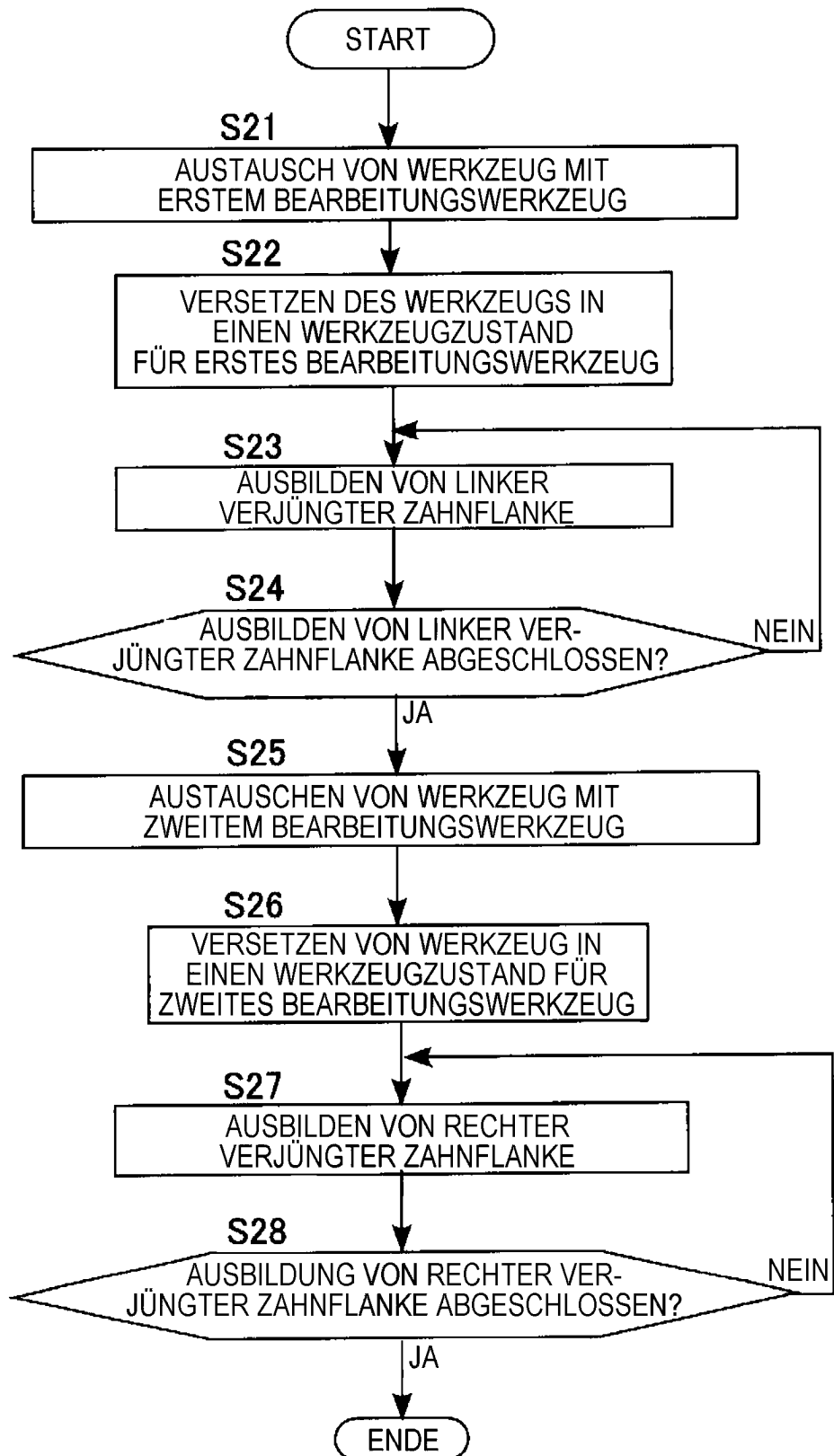


FIG.5A

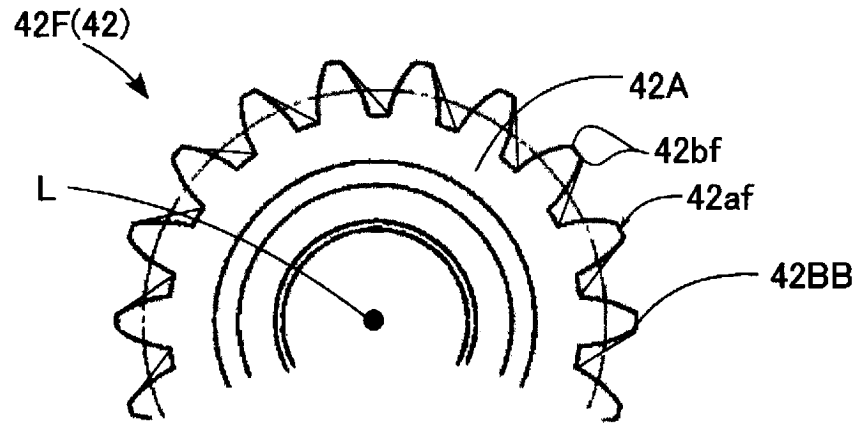


FIG.5B

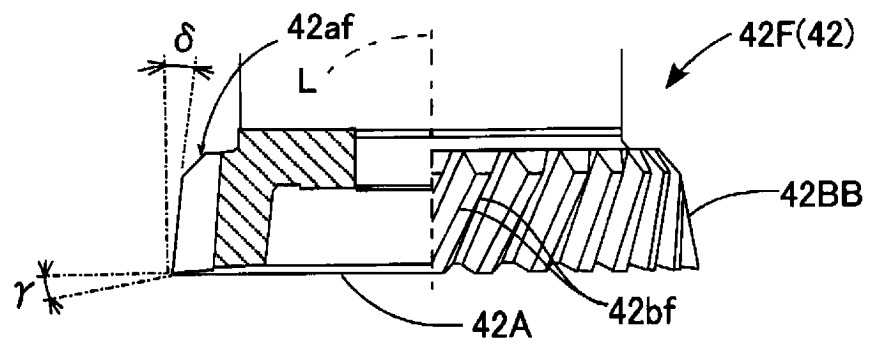


FIG.5C

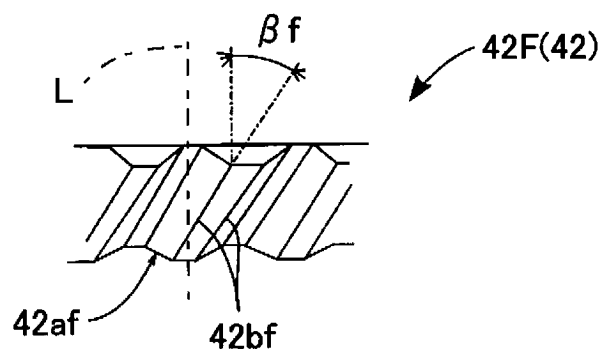


FIG.6A

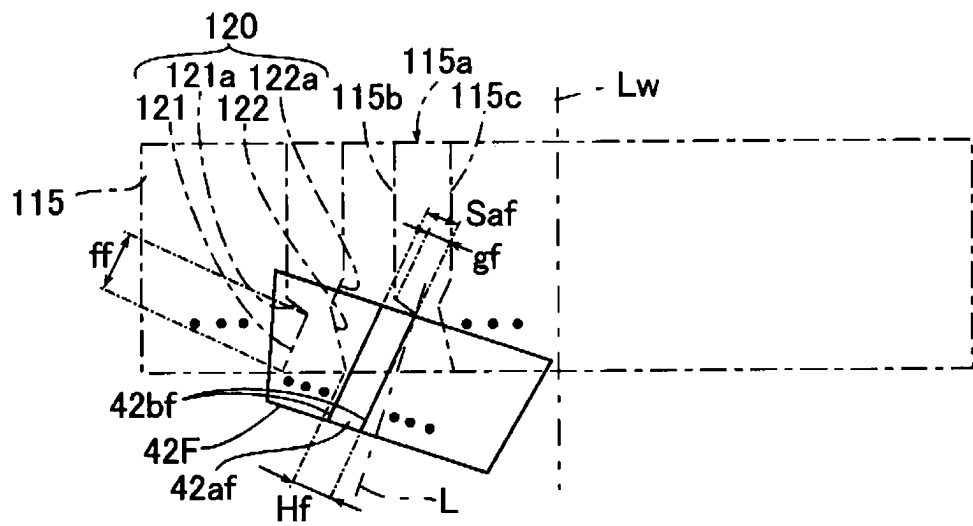


FIG.6B

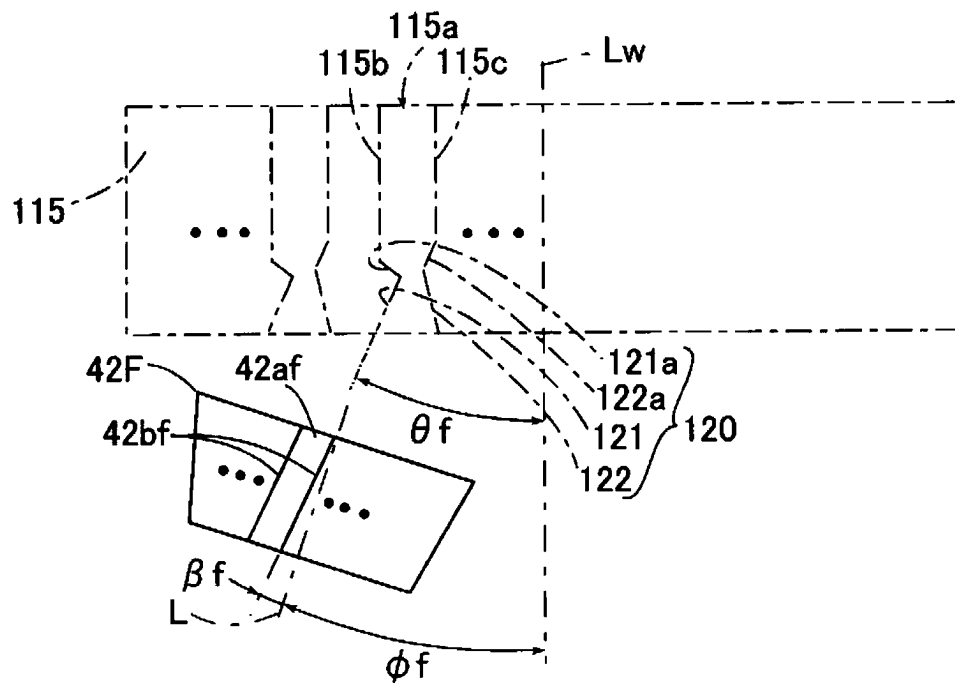


FIG.7

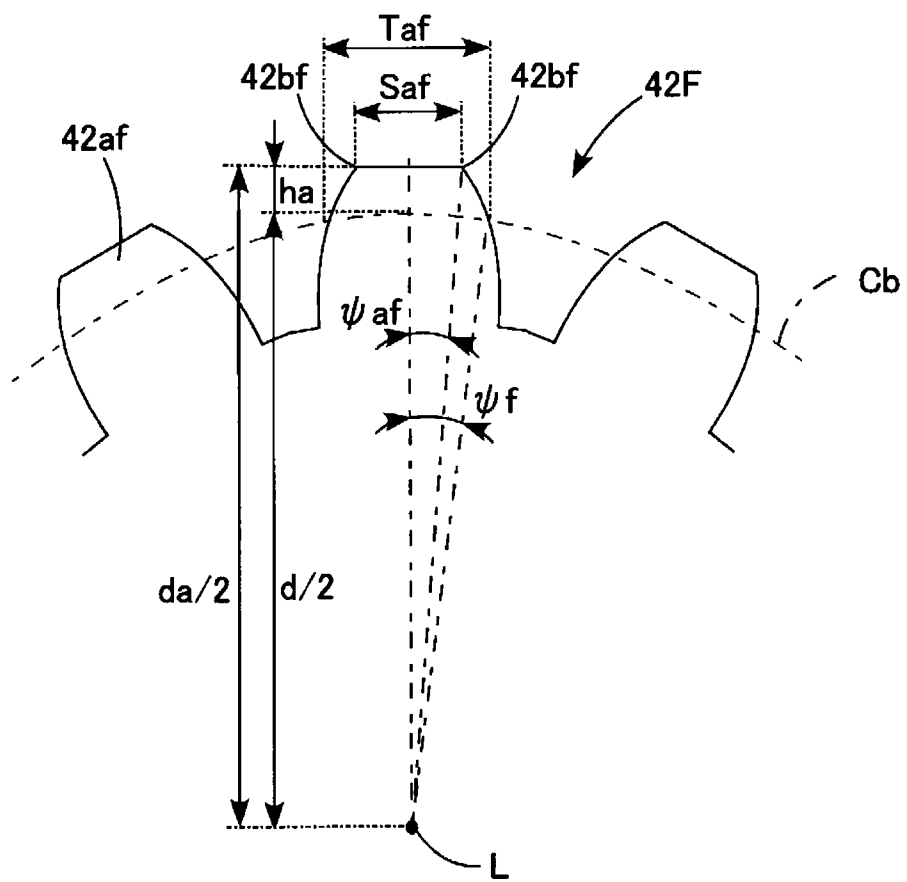


FIG.8A

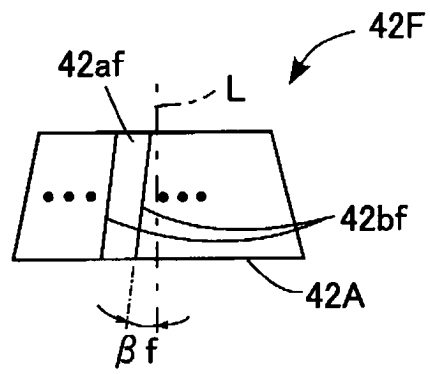


FIG.8B

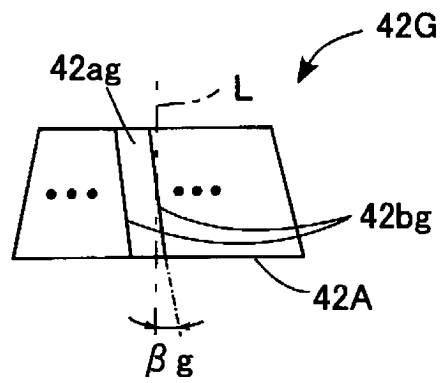


FIG.9A

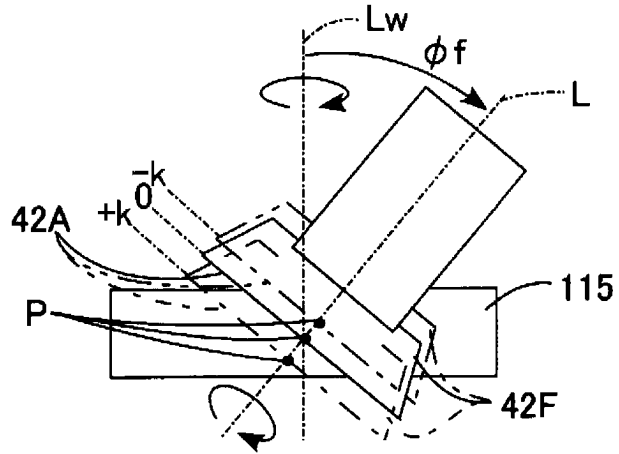


FIG.9B

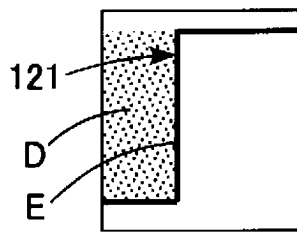


FIG.9C

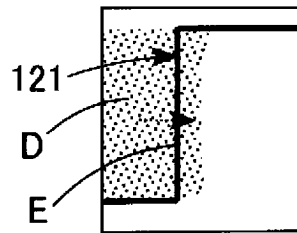


FIG.9D

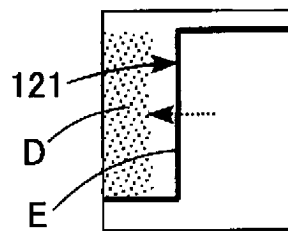


FIG.10A

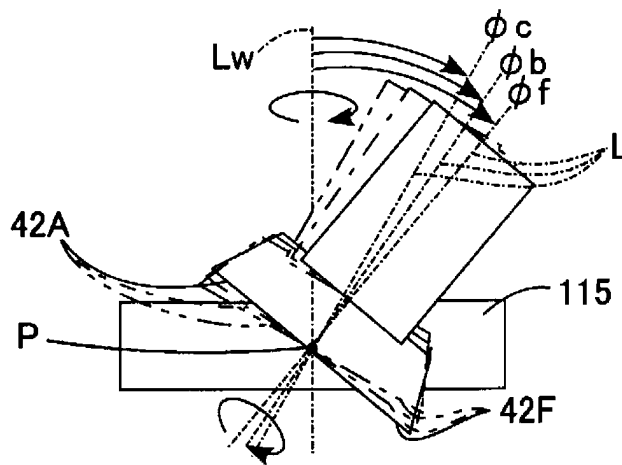


FIG.10B

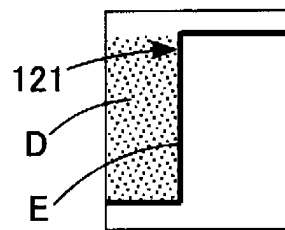


FIG.10C

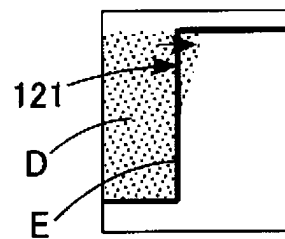


FIG.10D

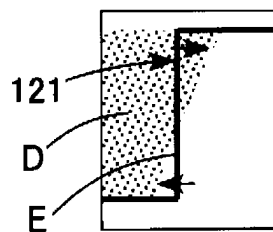


FIG.11A

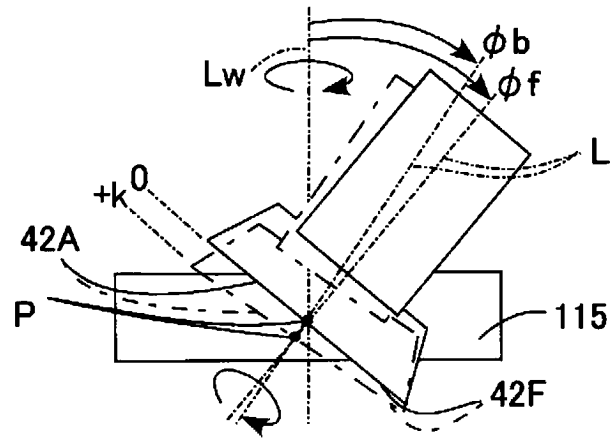


FIG.11B

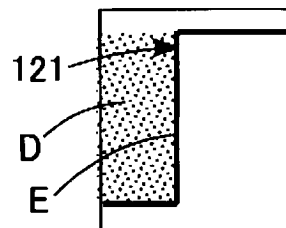


FIG.11C

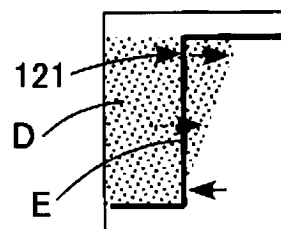


FIG.12A

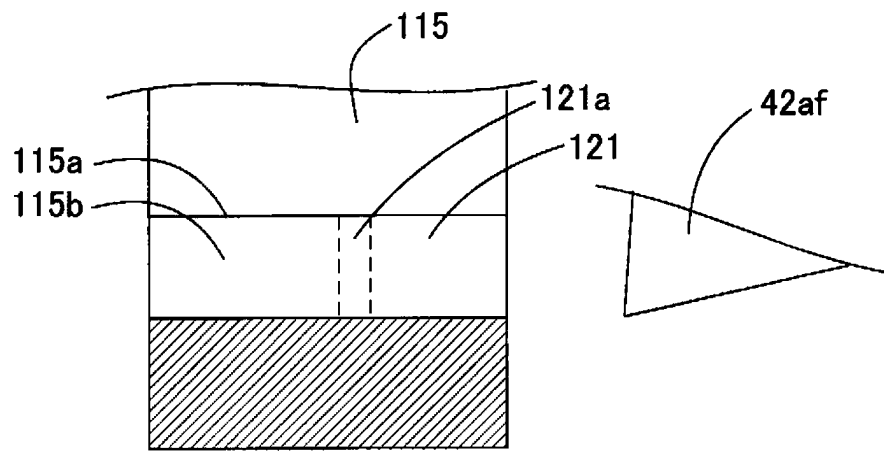


FIG.12B

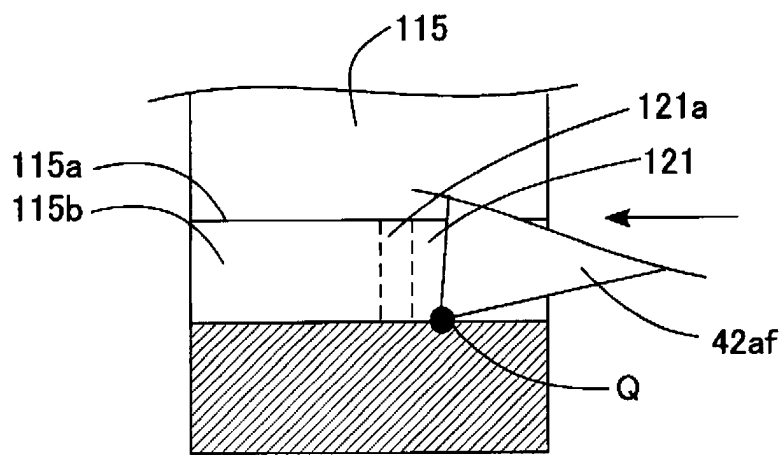


FIG.12C

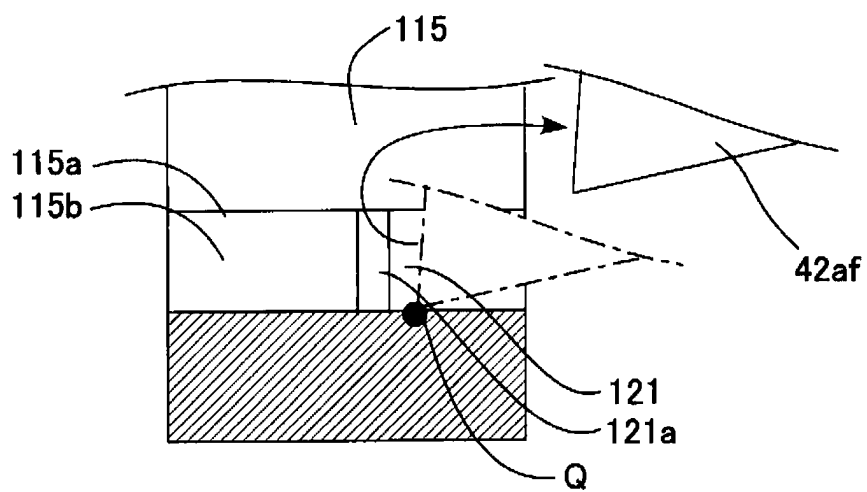


FIG.13

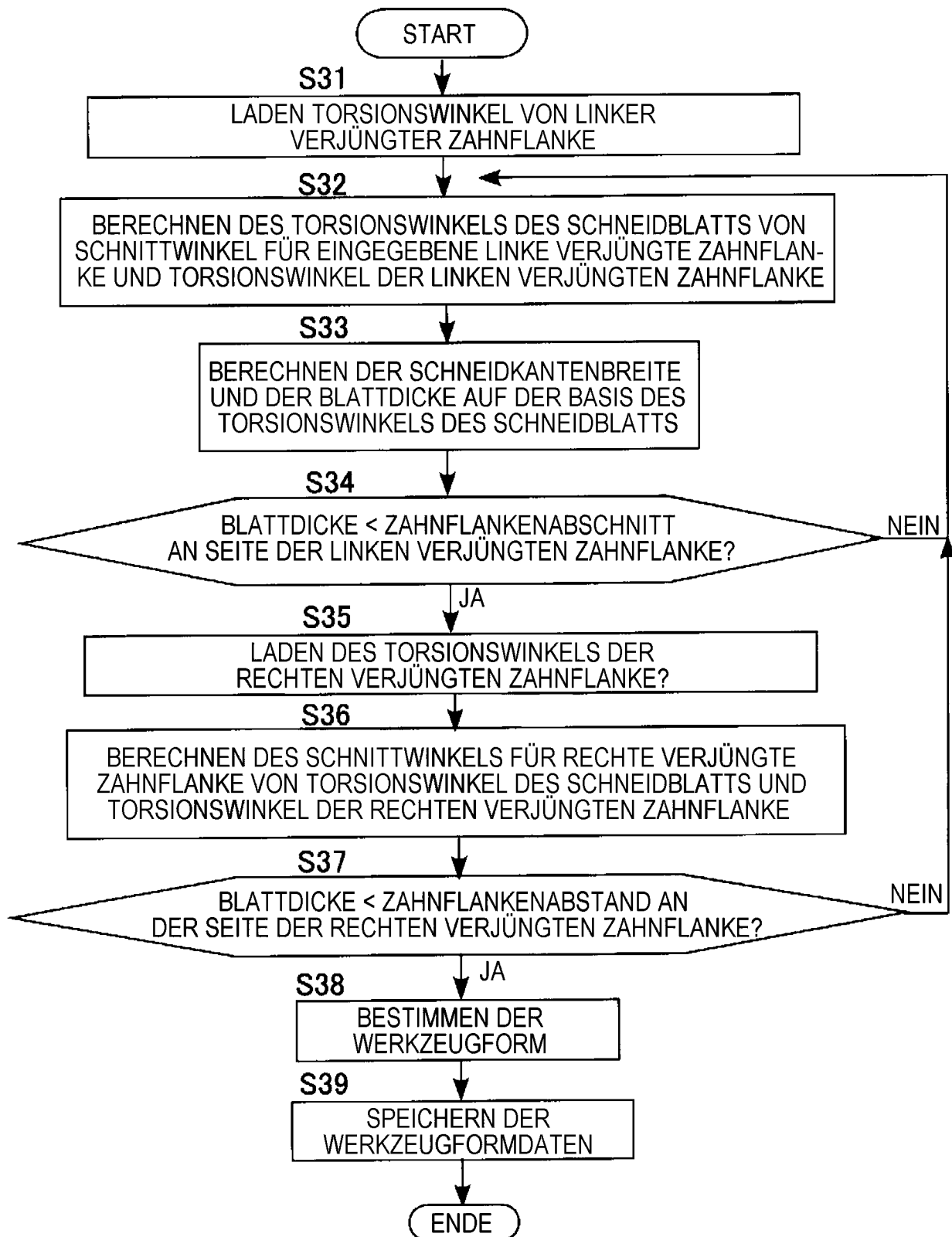


FIG.14C

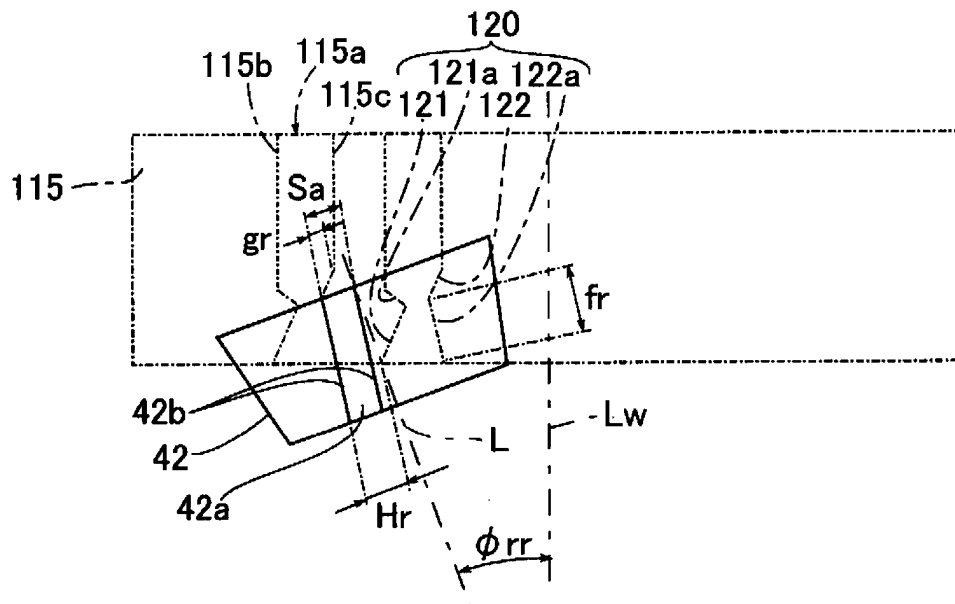


FIG.15

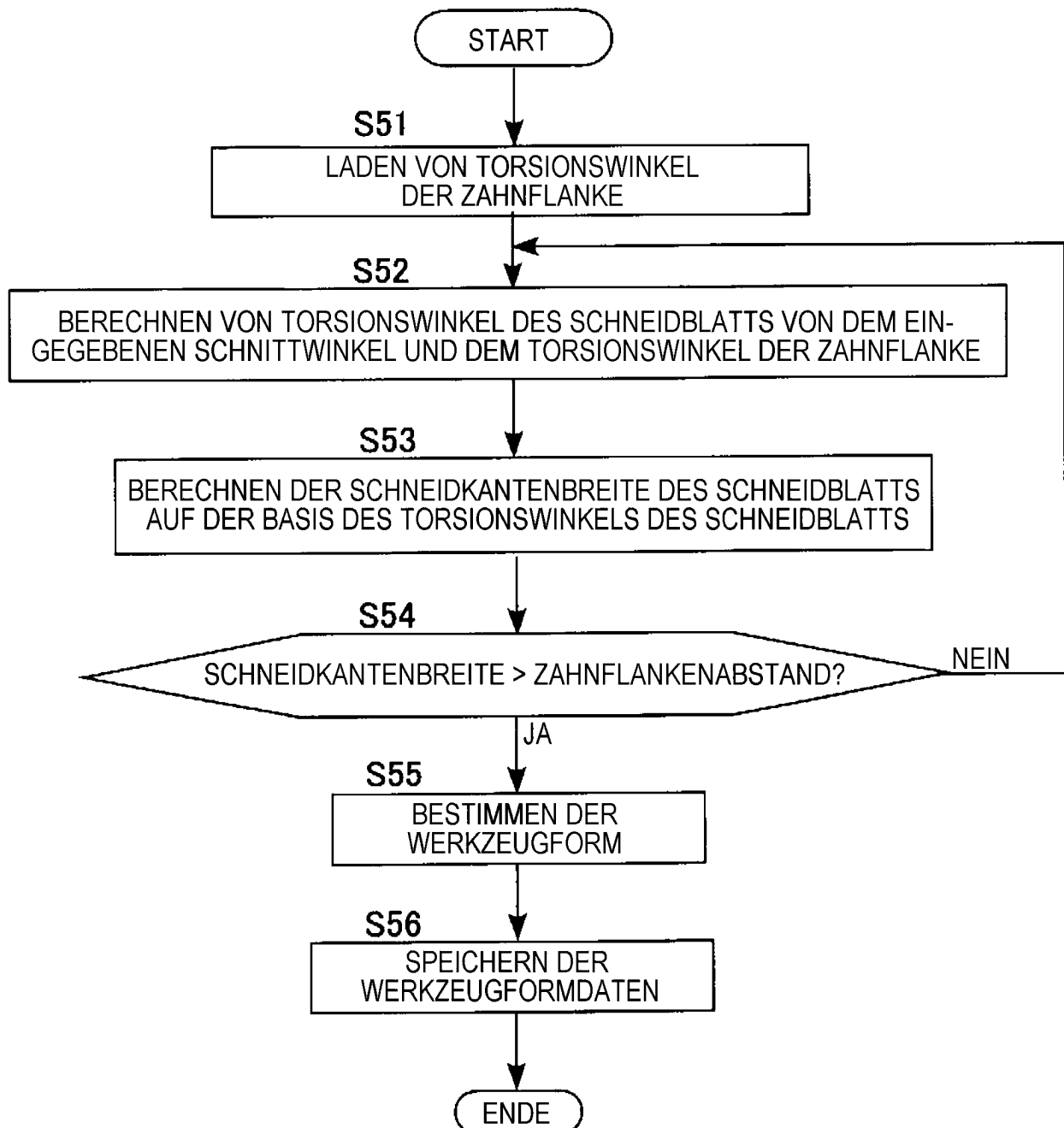


FIG.16A

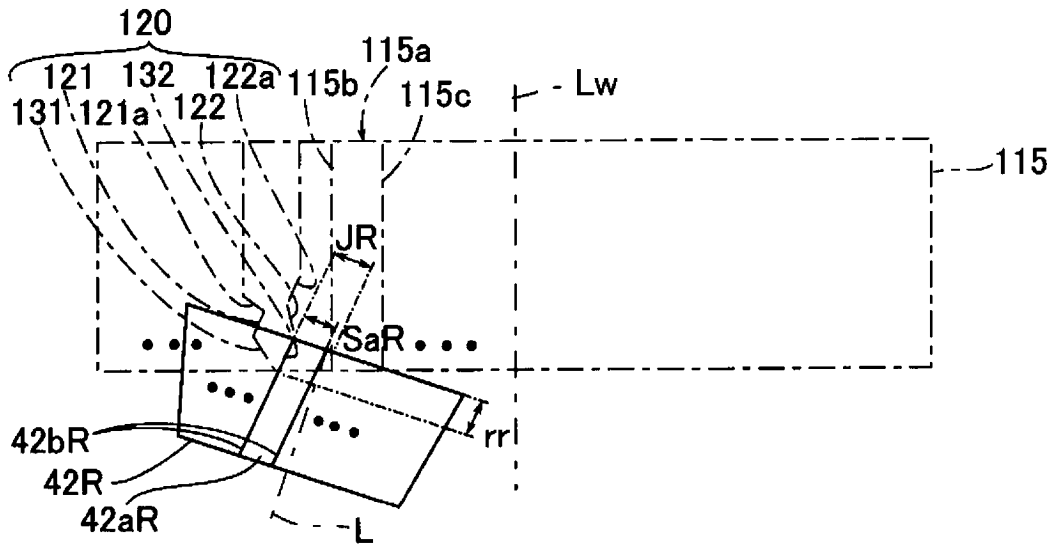


FIG.16B

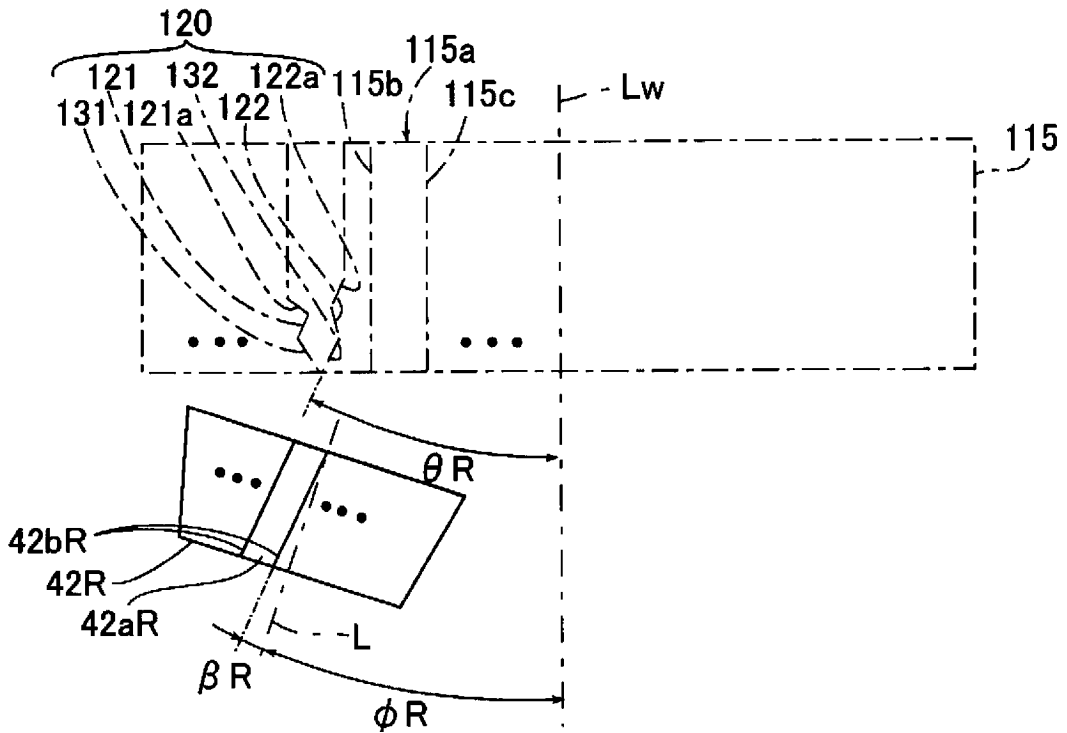


FIG.17A

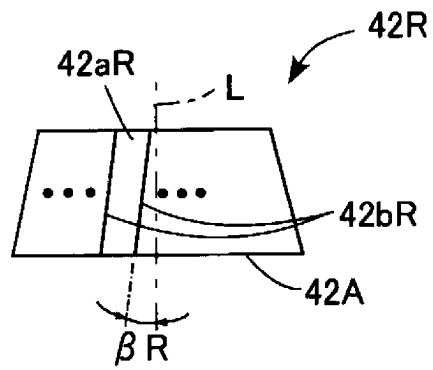


FIG.17B

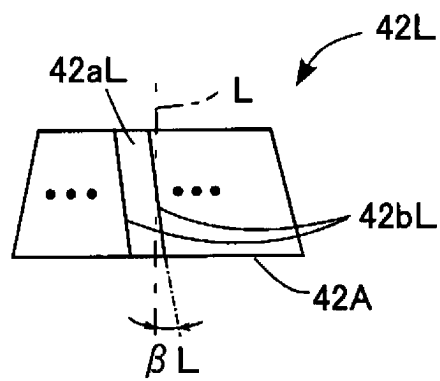


FIG.18

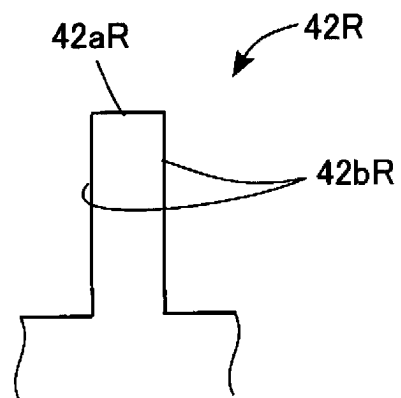


FIG.19A

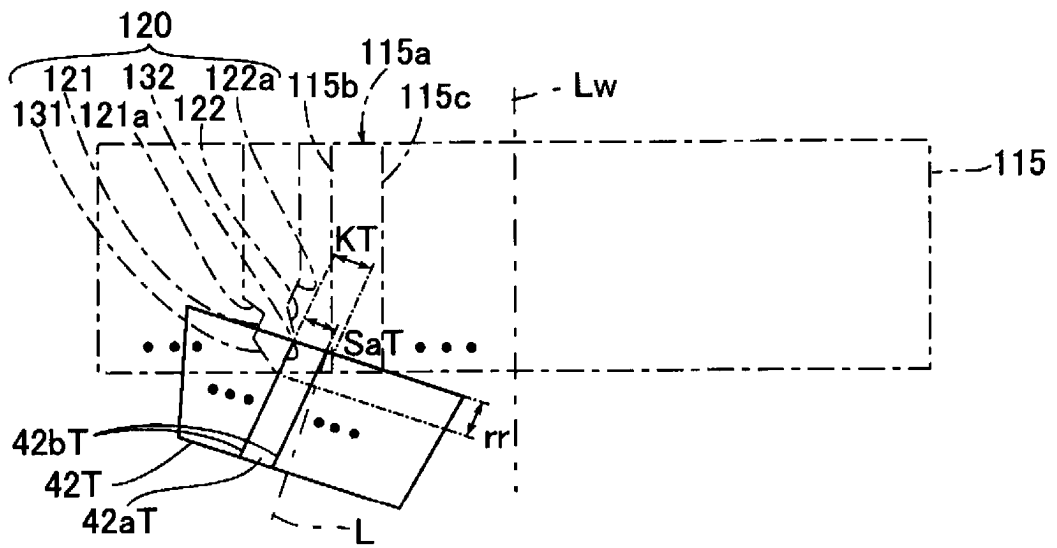


FIG.19B

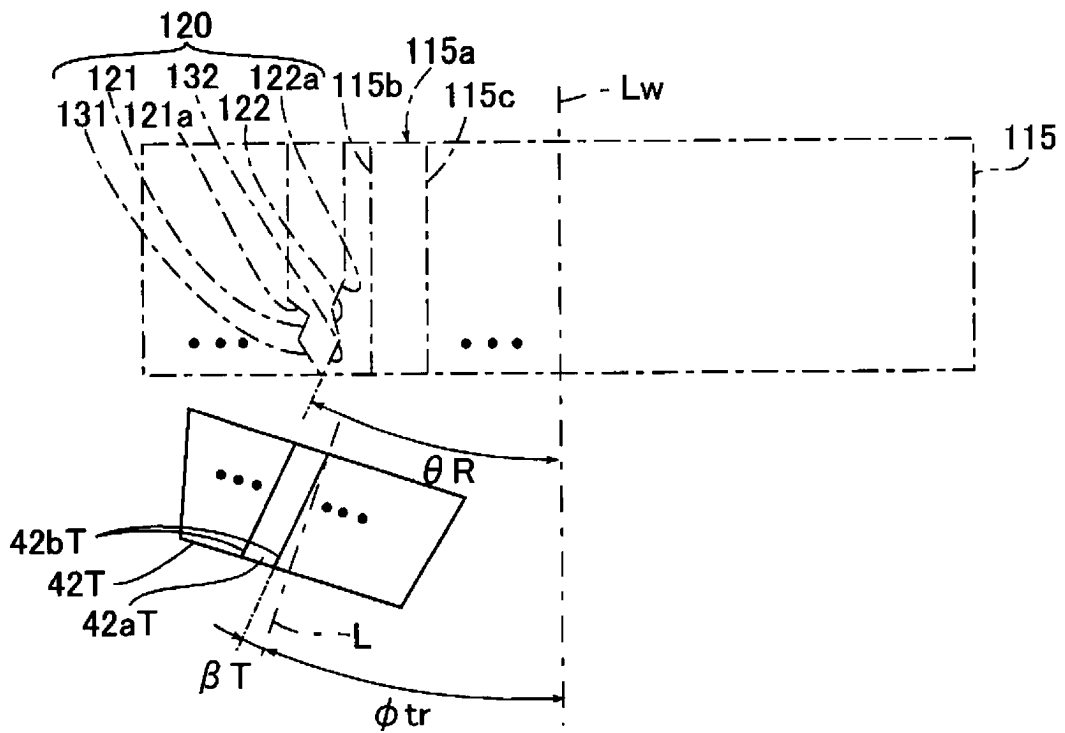


FIG.19C

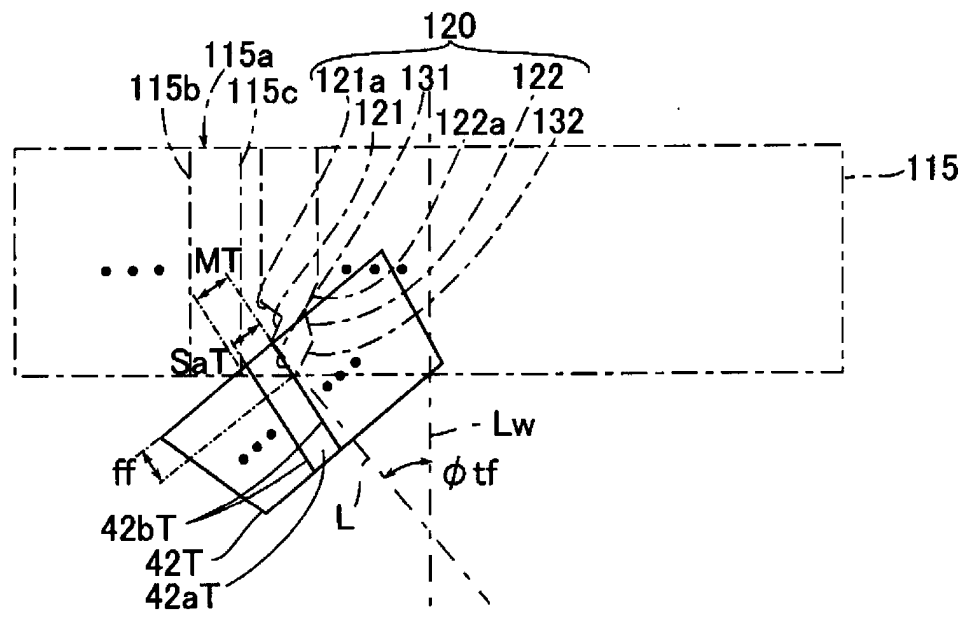


FIG.20

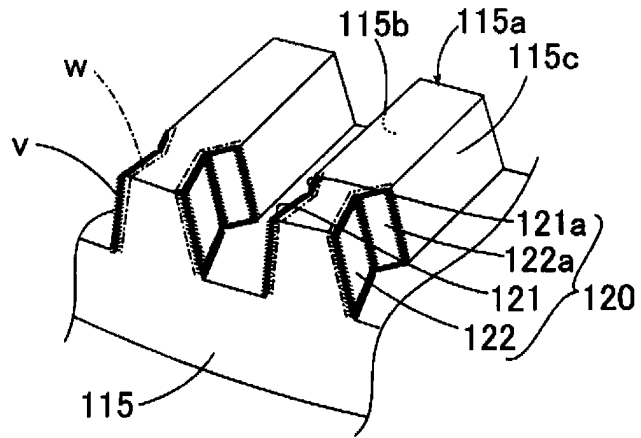


FIG.21

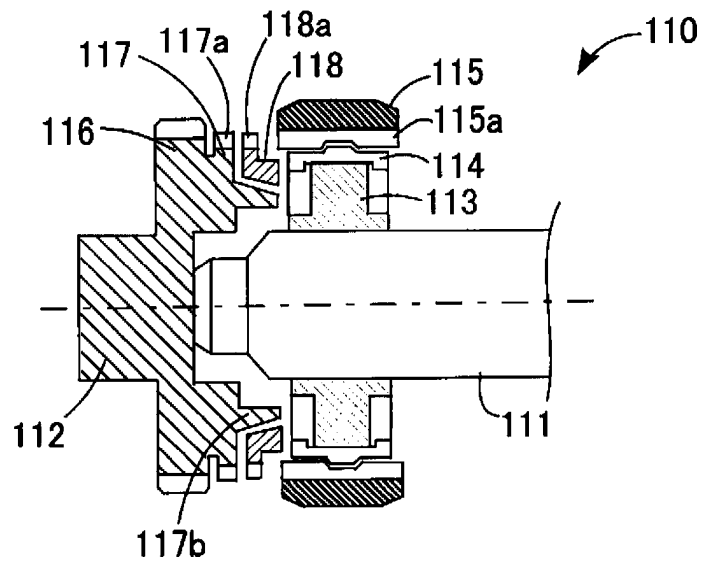


FIG.22A

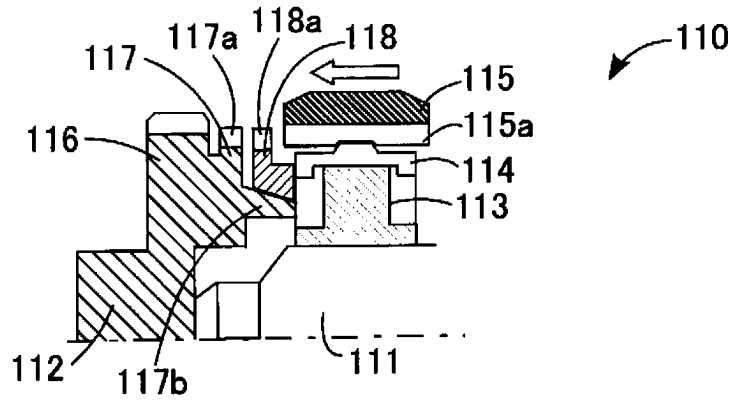


FIG.22B

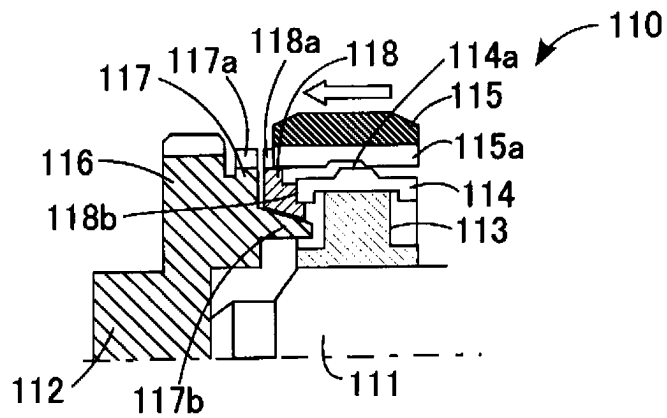


FIG.22C

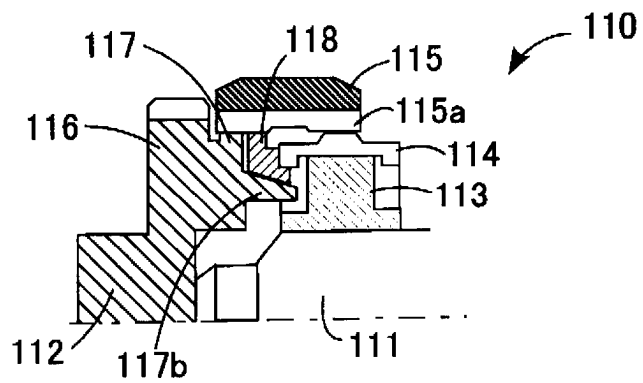


FIG.23

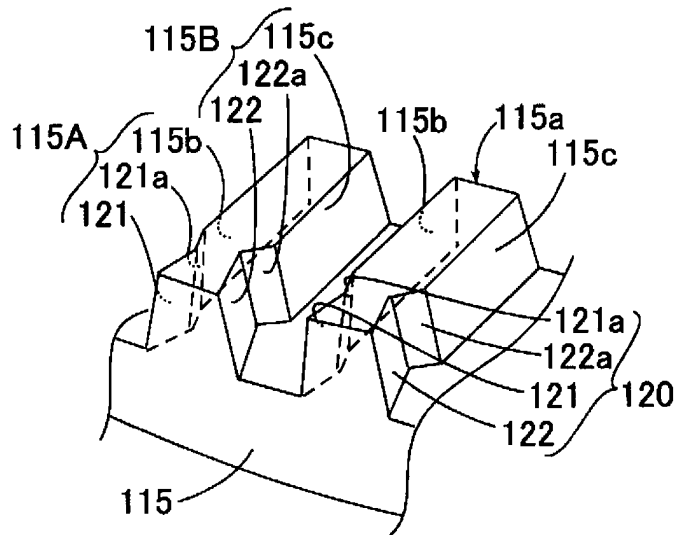


FIG.24

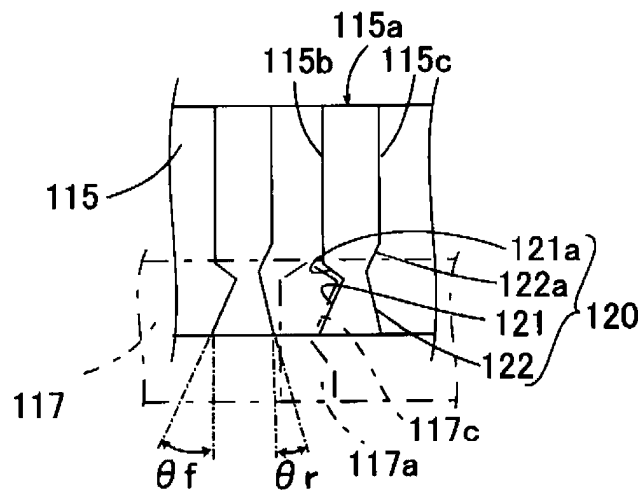


FIG.25

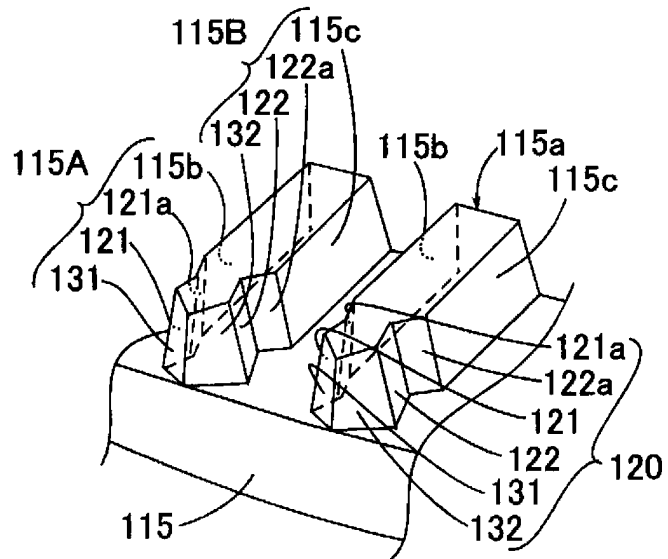


FIG.26

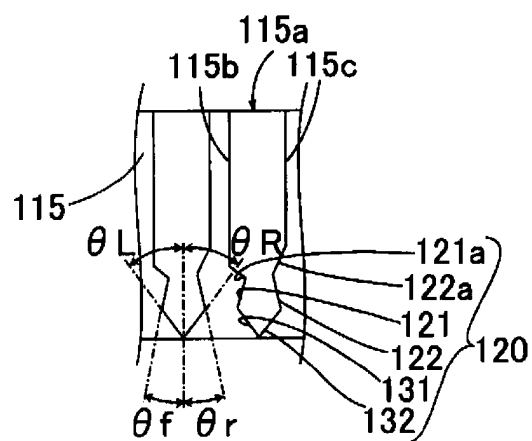


FIG.27

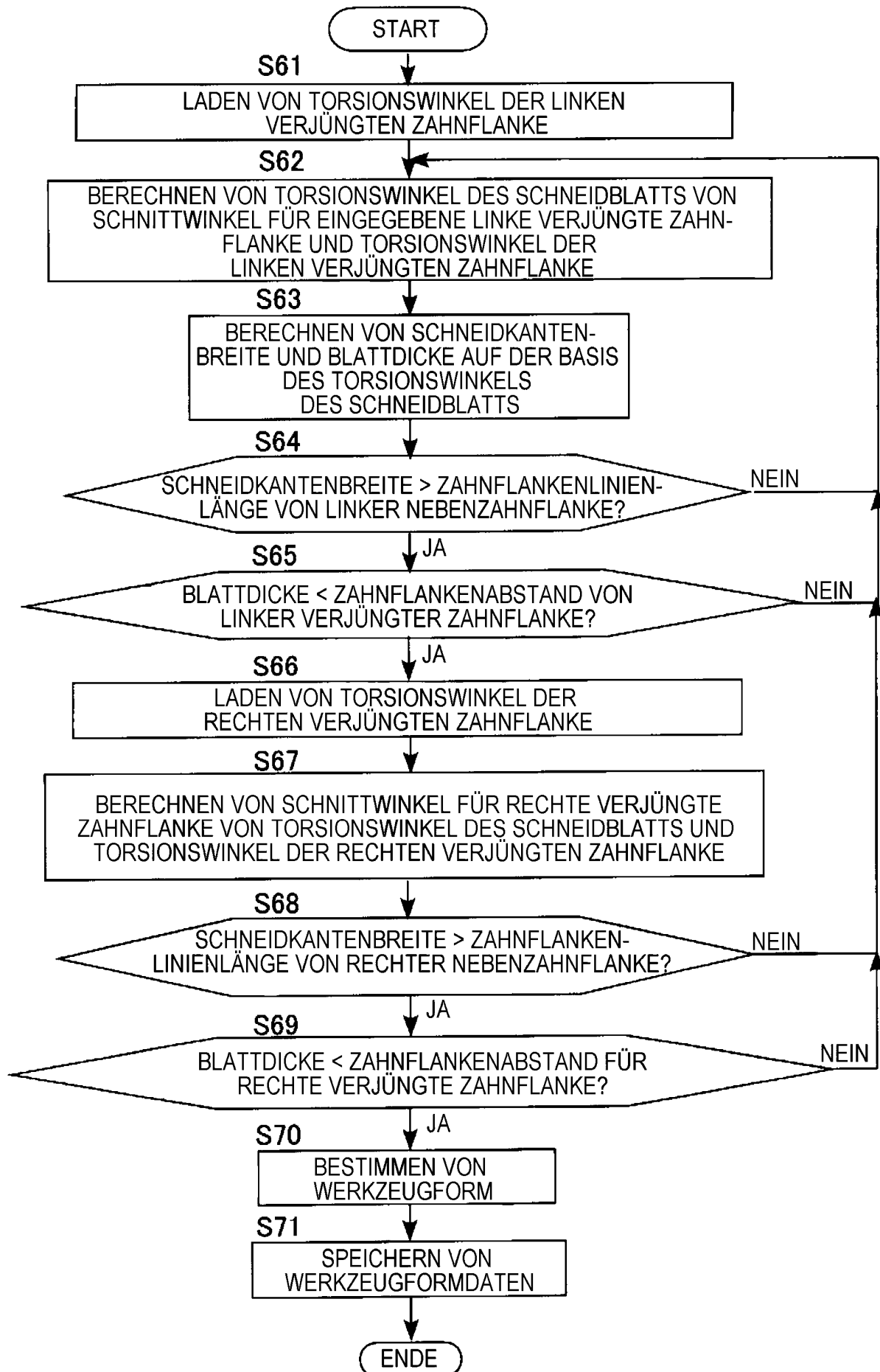


FIG.28A

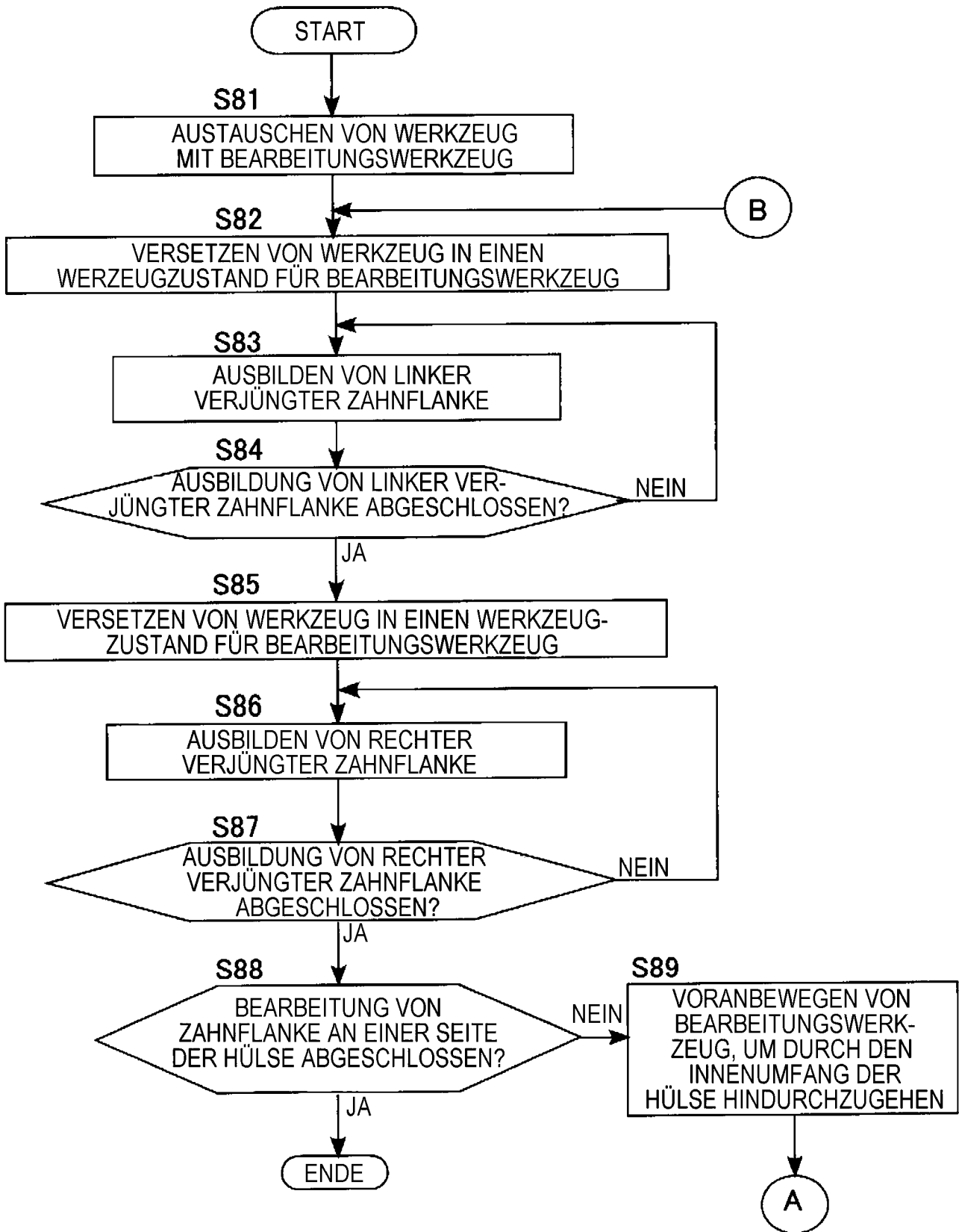


FIG.28B

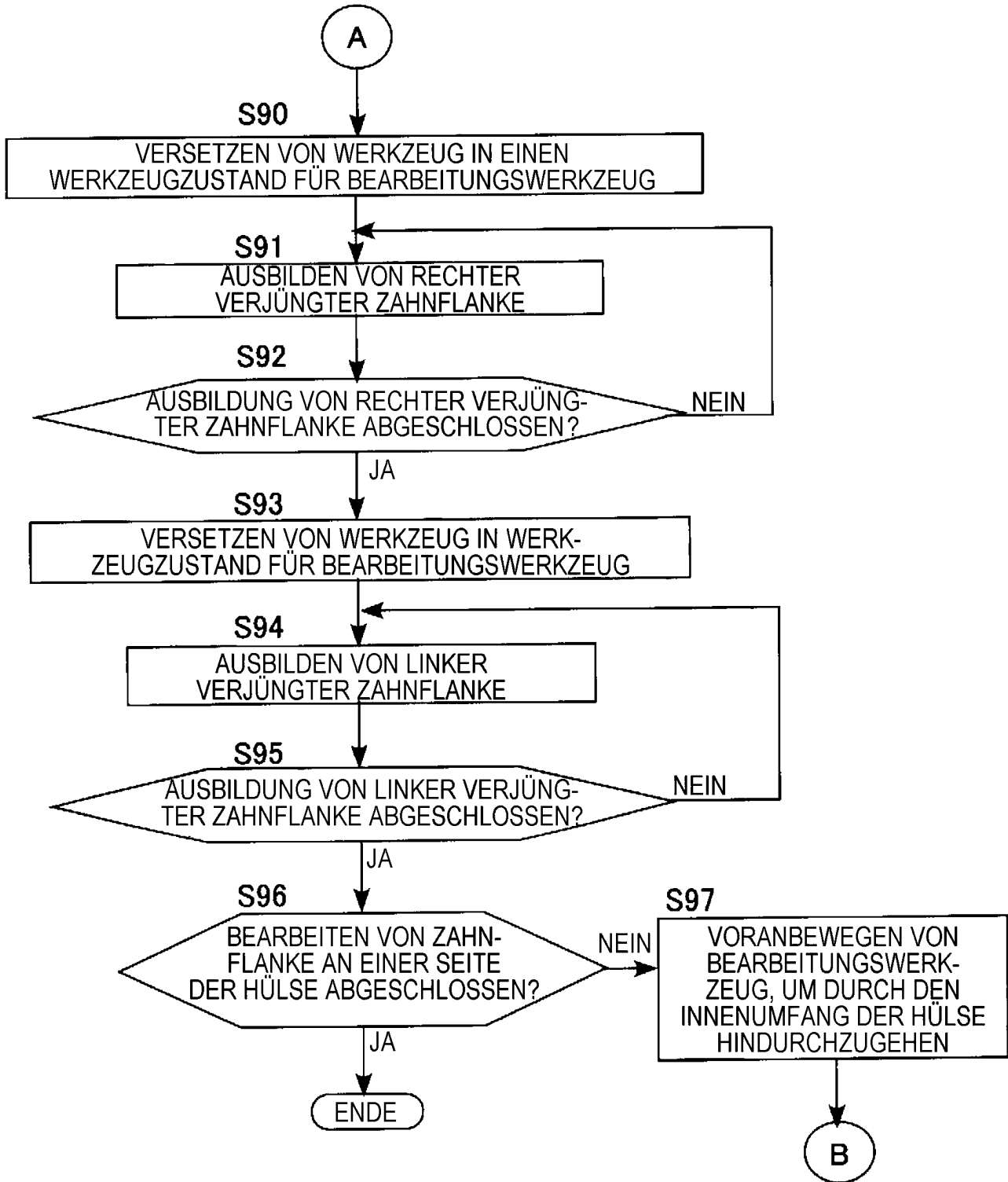


FIG.29A

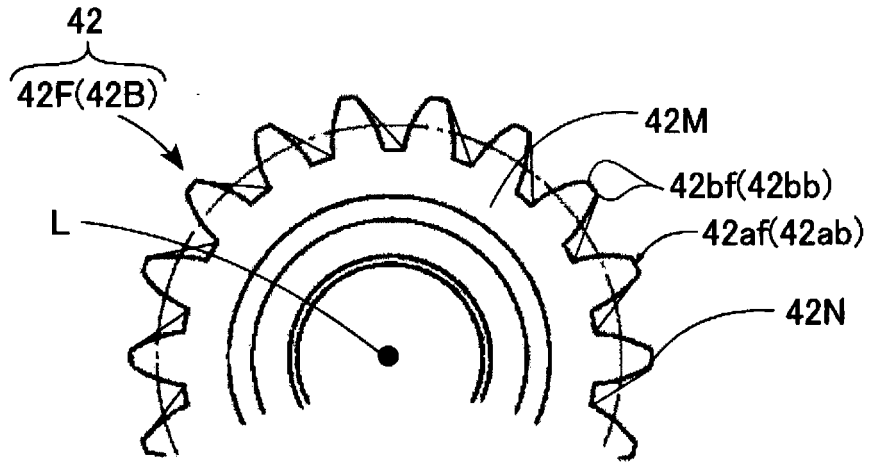


FIG.29B

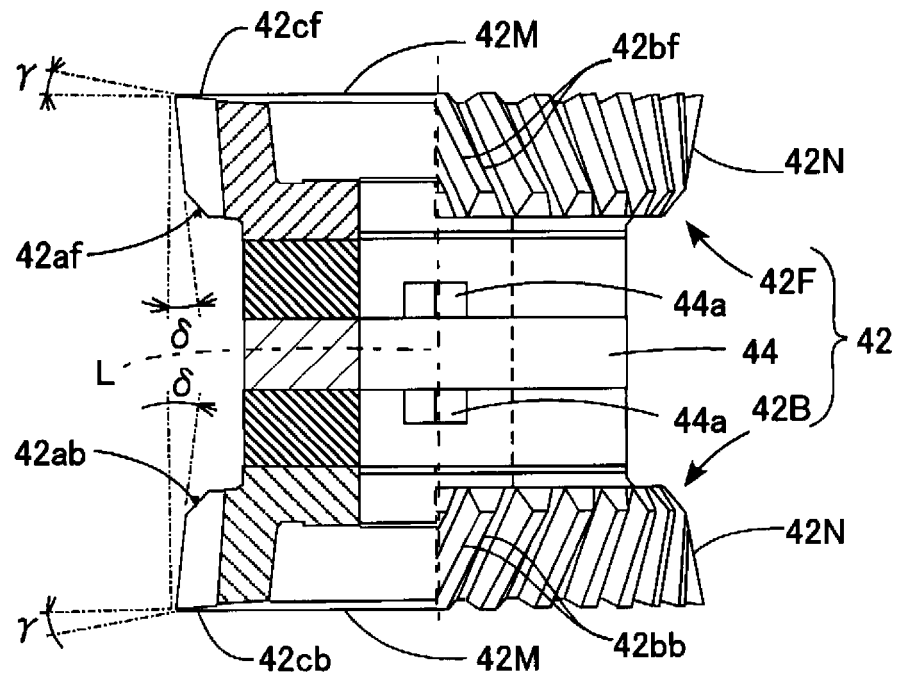


FIG.29C

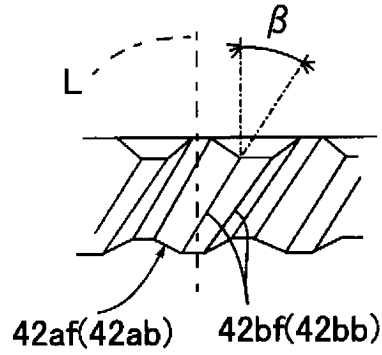


FIG.30

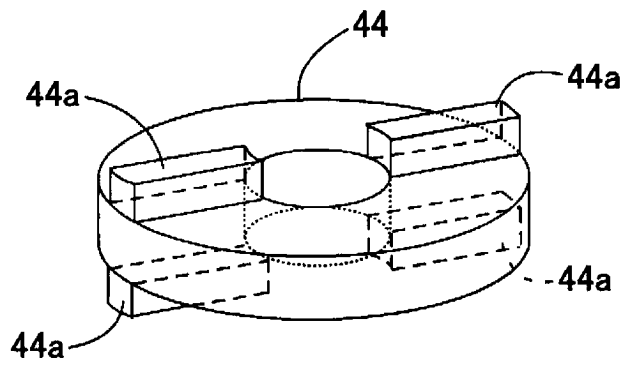


FIG.31

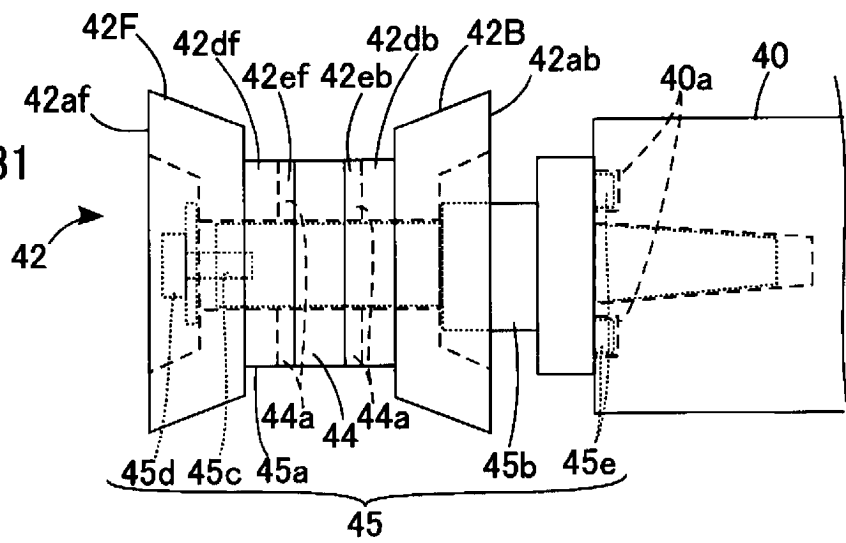


FIG.32

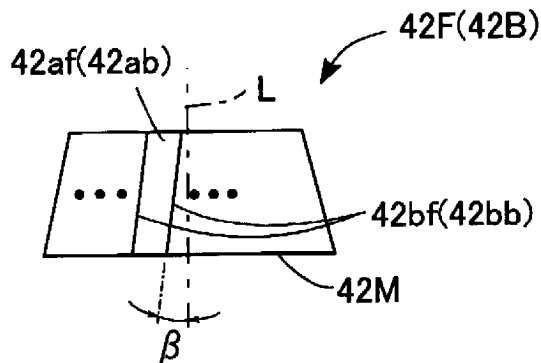


FIG.33A

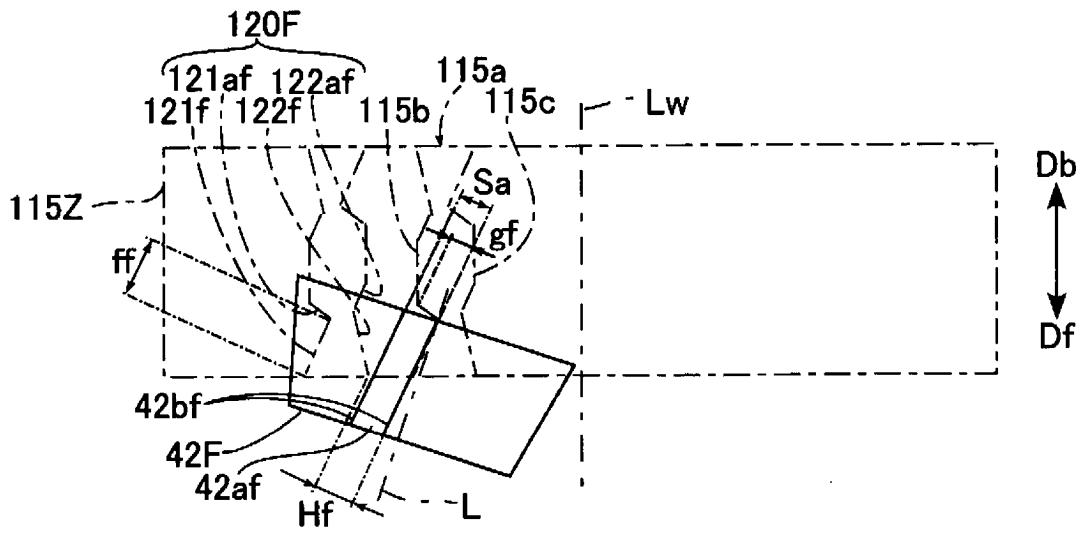


FIG.33B

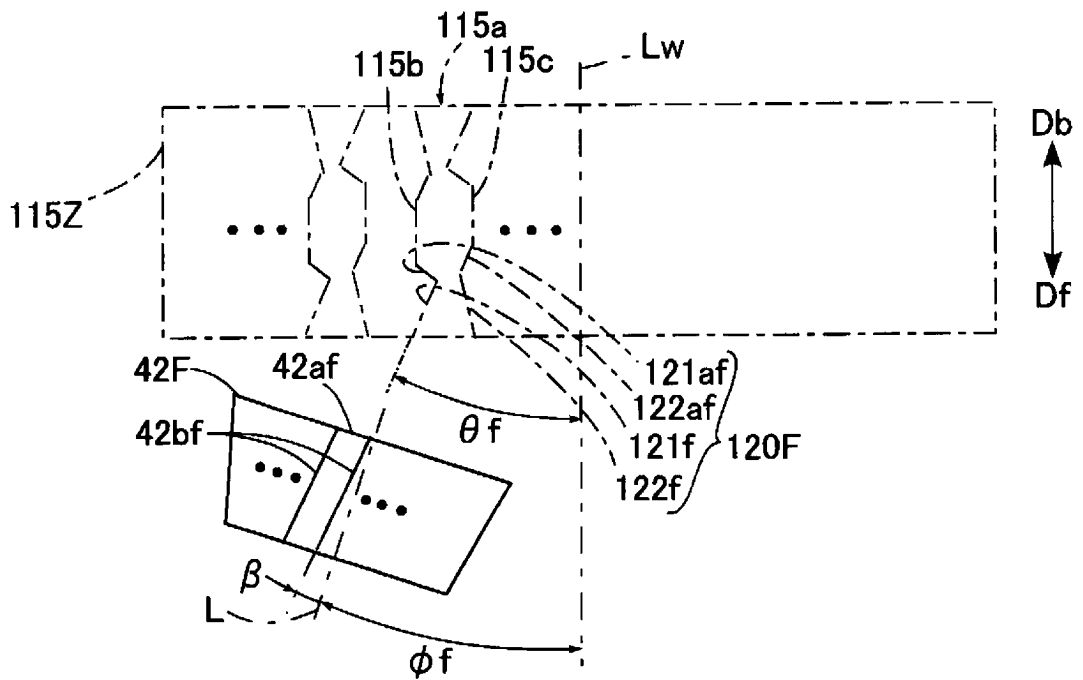


FIG.33C

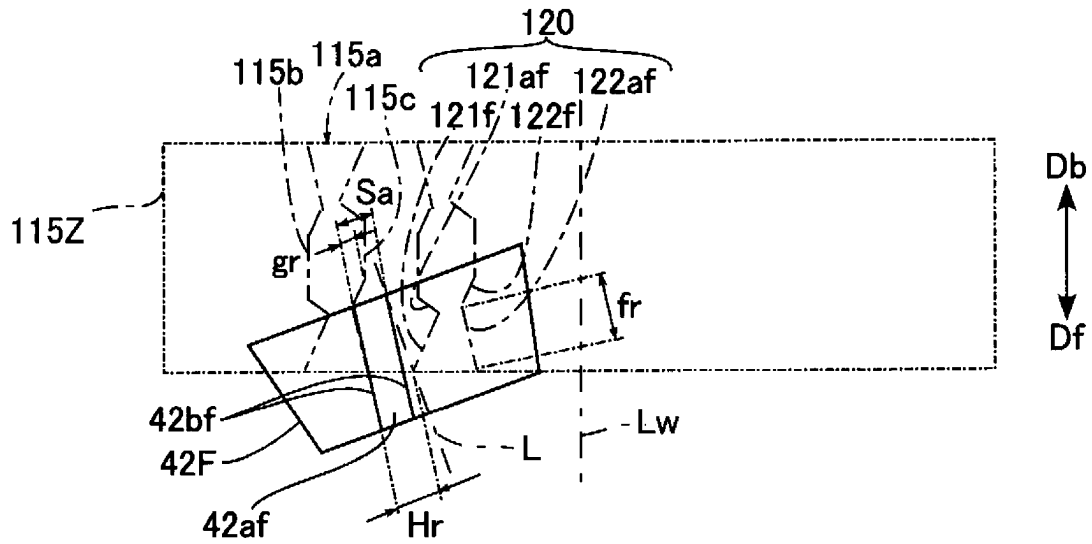


FIG.33D

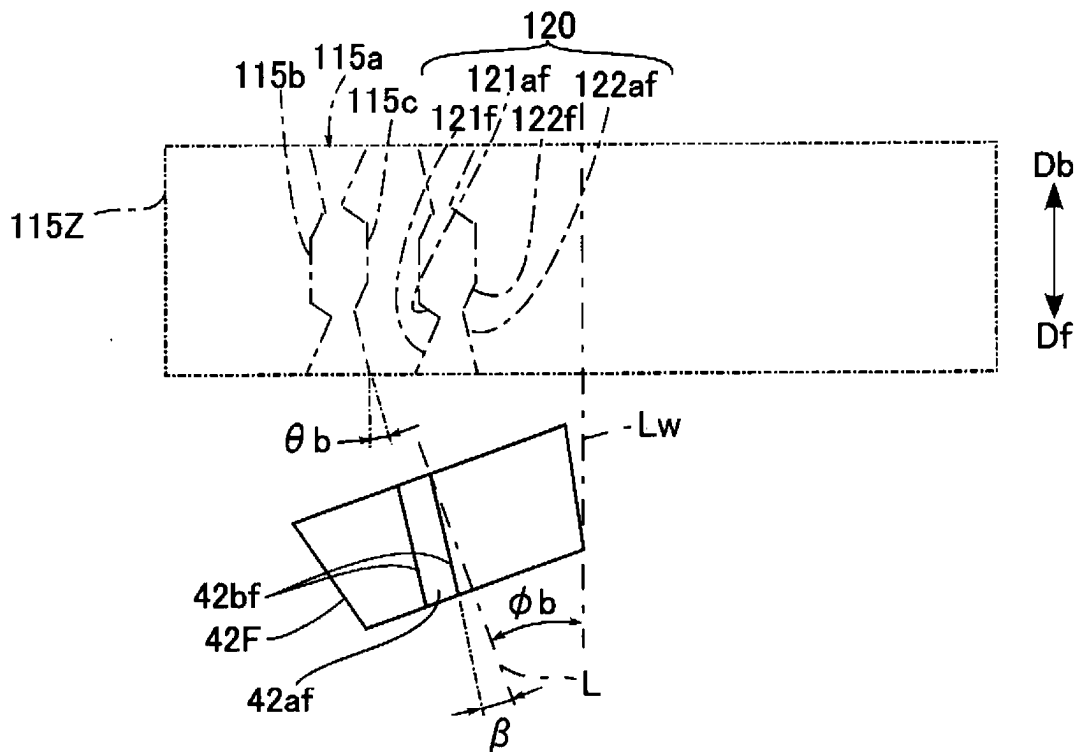


FIG.34A

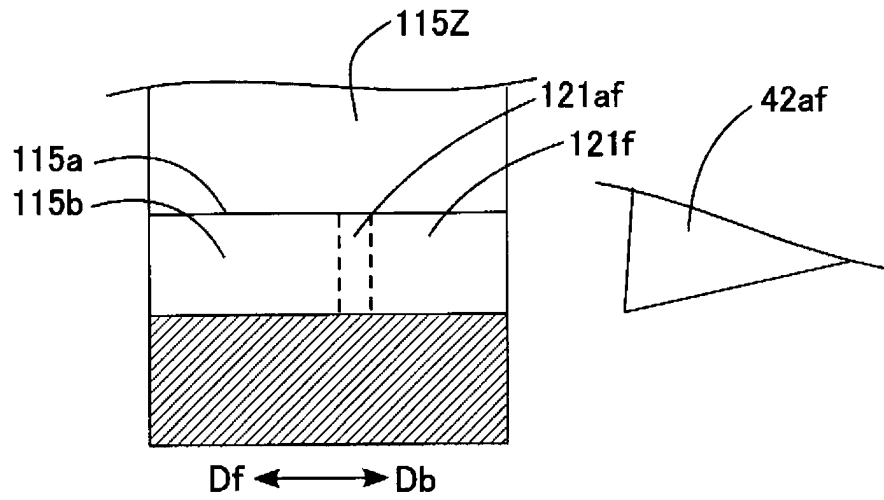


FIG.34B

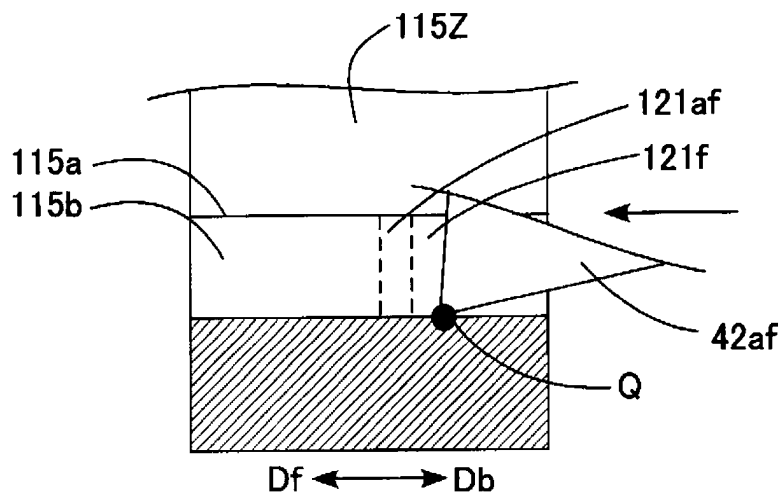


FIG.34C

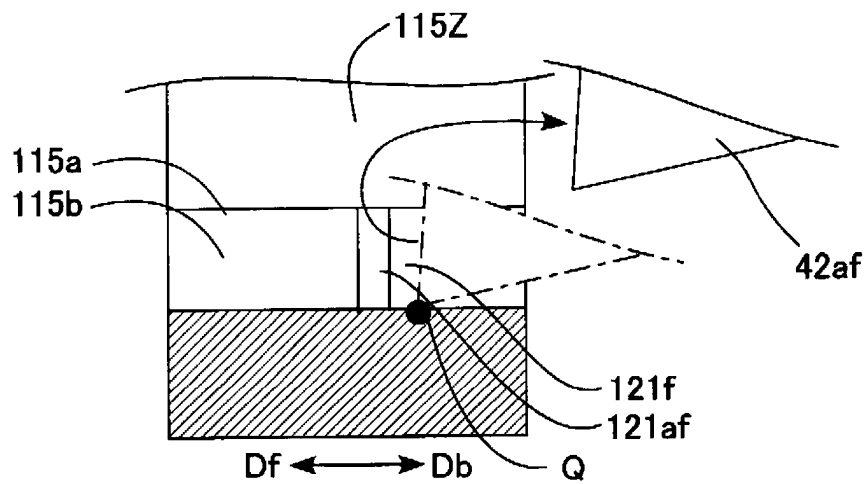


FIG.35A

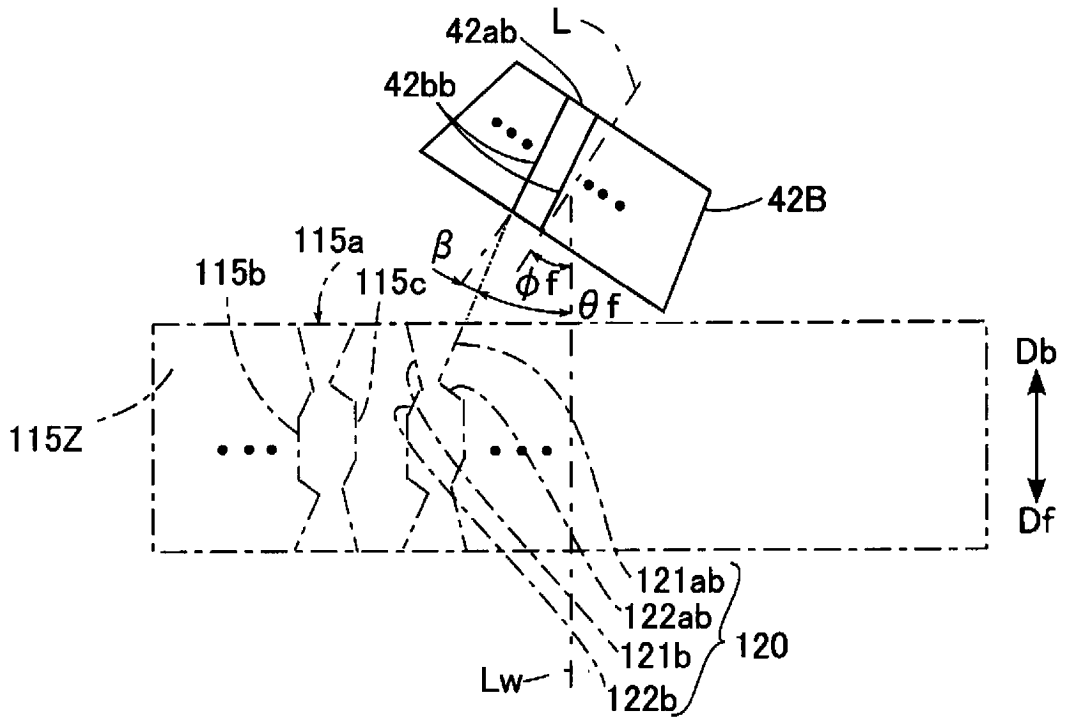


FIG.35B

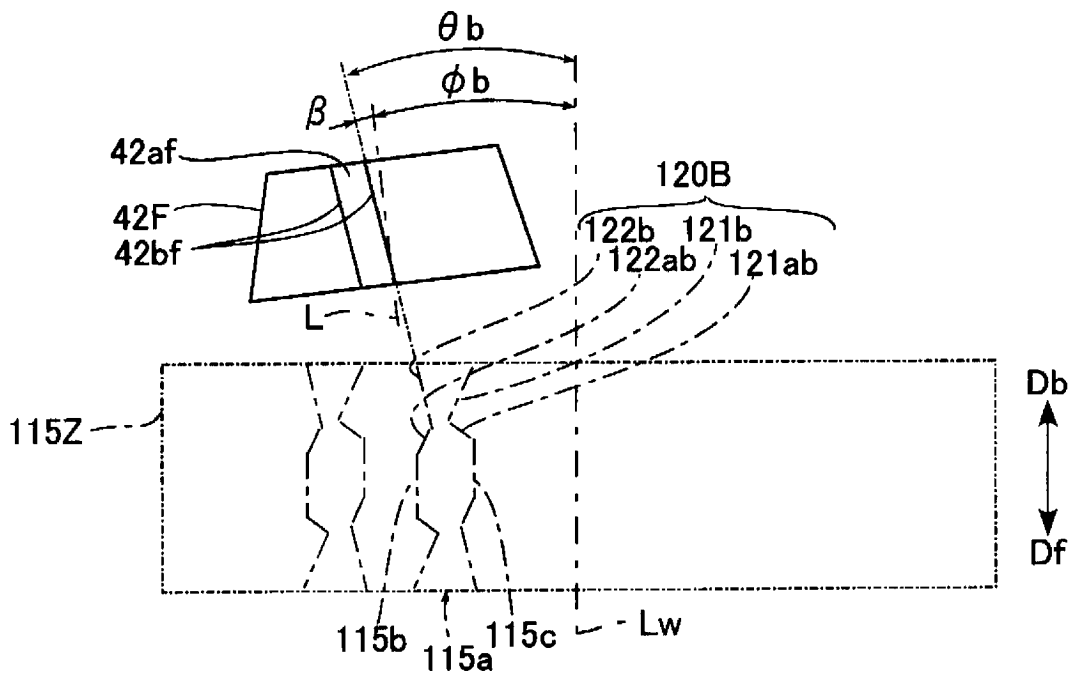


FIG.36A

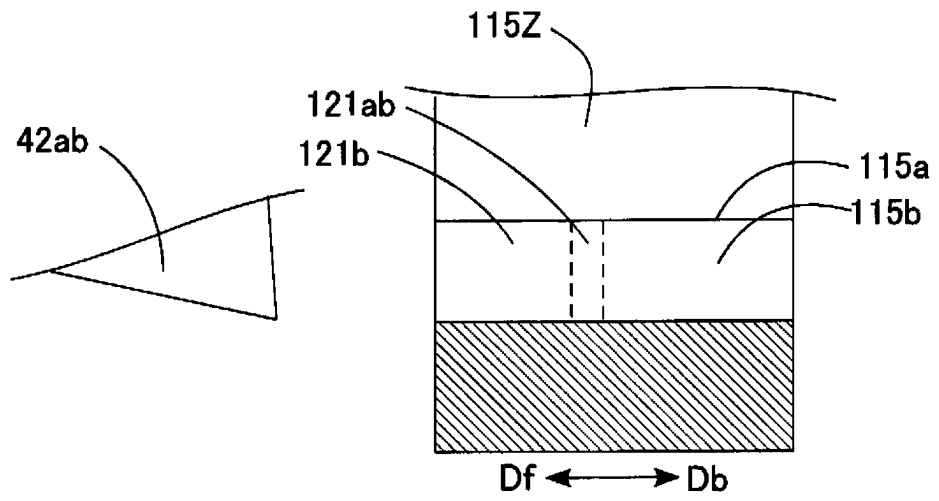


FIG.36B

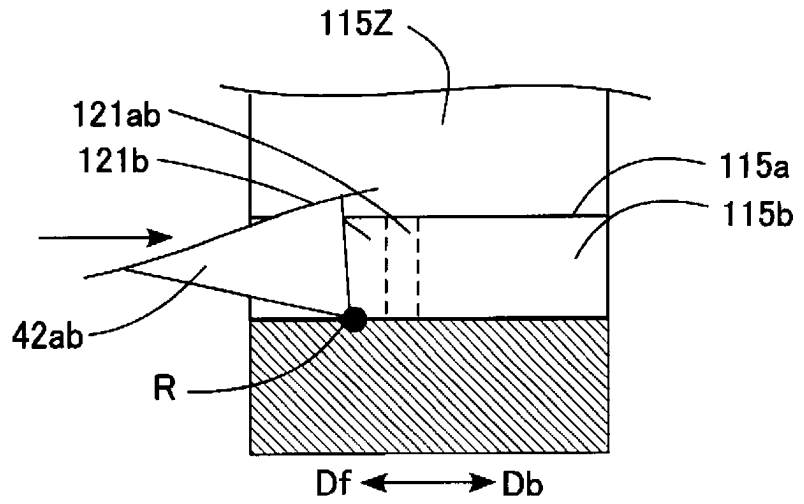


FIG.36C

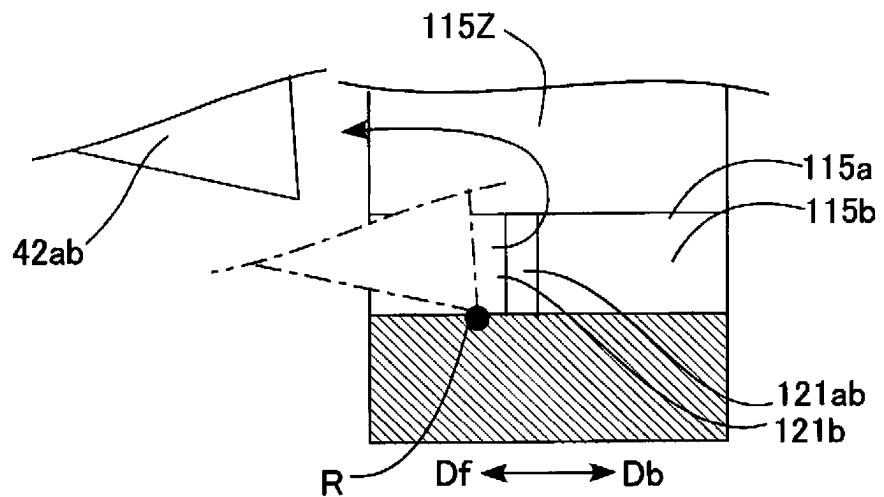


FIG.37

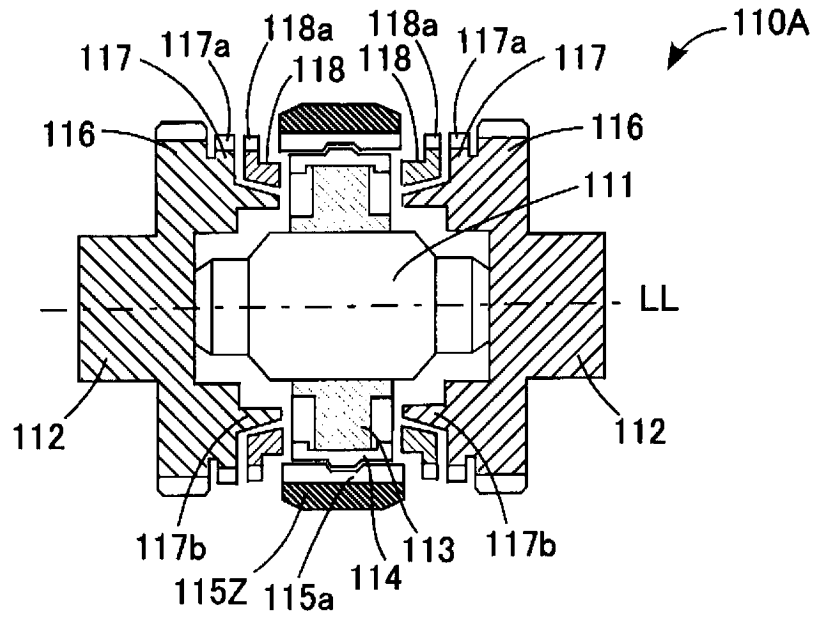


FIG.38

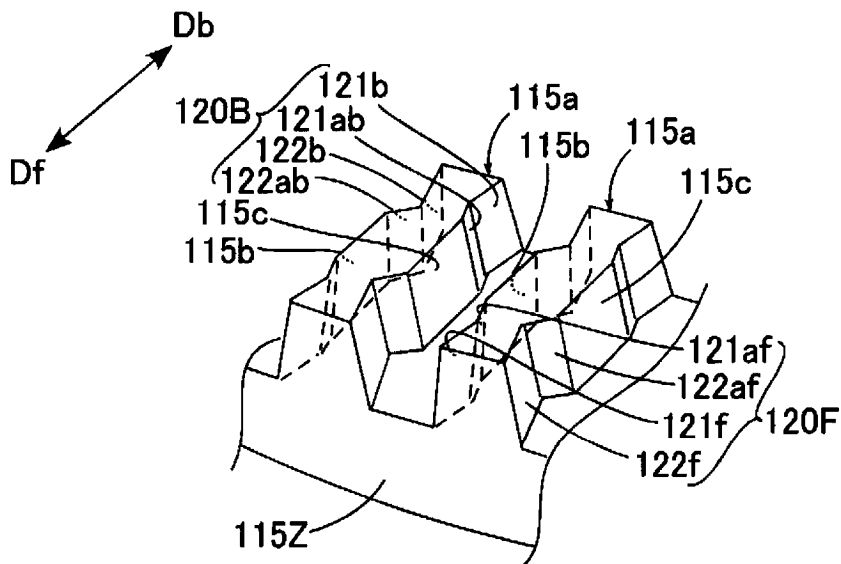


FIG.39

