



(10) **DE 11 2012 005 088 T5** 2014.08.21

(12)

Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2013/084838**
in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2012 005 088.6**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2012/081254**
(86) PCT-Anmeldetag: **03.12.2012**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **13.06.2013**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **21.08.2014**

(51) Int Cl.: **F16H 1/16 (2006.01)**
F16H 55/22 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
2011-267389 **06.12.2011** **JP**

(71) Anmelder:
Honda Motor Co., Ltd., Tokyo, JP

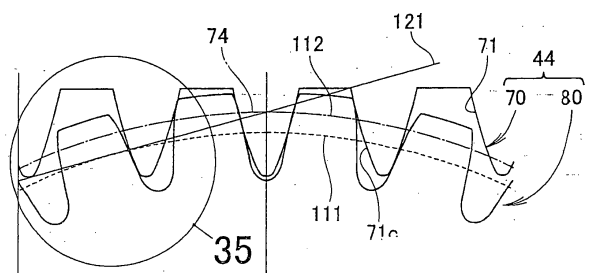
(74) Vertreter:
**Patentanwälte Weickmann & Weickmann, 81679,
München, DE**

(72) Erfinder:
**Shimizu, Yasuo, c/o Honda R&D Co., Ltd., Wako-
shi, Saitama, JP; Tanaka, Yosuke, c/o Honda R&D
Co., Ltd., Wako-shi, Saitama, JP**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Schneckengetriebemechanismus**

(57) Zusammenfassung: Ein Schneckengetriebemechanismus (44) weist eine Schnecke (70) und einen mit der Schnecke in Eingriff stehendes Schneckenrad (80) auf. In den Zähnen des Fräasers (90), der für den Verzahnungsschnitt des Schneckenrads verwendet wird, sind zumindest die Kopfoberflächen (91c) bogenförmig ausgebildet. Die radialen Mitteln (93) der Bögen der Kopfoberflächen sind näher an einer Mittellinie (WL') des Fräasers angeordnet als eine Teilungslinie (94) des Fräasers. Das Schneckenrad wird mit dem Fräser zu einem Zahnrad geschnitten. Die Schnecke wird in der gleichen Form wie der Fräser ausgebildet. Die Vertiefungseingriffslänge (L) des Schneckengetriebemechanismus ist so ausgestaltet, dass sie größer ist als die Vertiefungseingriffslänge (L_{lim}) eines herkömmlichen Schneckengetriebemechanismus.



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Technik zum Verbessern eines Schneckengetriebemechanismus.

TECHNISCHER HINTERGRUND

[0002] Ein Schneckengetriebemechanismus ist z. B. in einer Servolenkvorrichtung eines Fahrzeugs angebracht (siehe z. B. **Fig. 14** in Patentschrift 1).

[0003] Der in Patentschrift 1 offenbarte Schneckengetriebemechanismus ist versehen mit einer Schnecke, die durch eine Schneckenwelle mit einem Elektromotor gekoppelt ist, und einem Schneckenrad, das mit der Schnecke in Eingriff steht. Dieser Getriebemechanismus ist konfiguriert, um ein durch den Elektromotor erzeugtes Hilfsdrehmoment zu verstärken und von der Schnecke auf das Schneckenrad zu übertragen.

[0004] Allgemein erhält, wenn die Schnecke gedreht wird und in Druckrichtung des Schneckenrads eine Kraft ausgeübt wird, die Schnecke eine Reaktionskraft von dem Schneckenrad an einen Kontaktpunkt der Schnecke und des Schneckenrads. Es ist bevorzugt, dass die Festigkeit des Schneckengetriebemechanismus verbessert wird, da dies zur verlängerten Lebensdauer des Schneckengetriebemechanismus beitragen kann.
Herkömmliche Schriften

Patentschrift

[0005]

Patentschrift 1: JP 2010-270908 A

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Technisches Problem

[0006] Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Technik anzugeben, um die Festigkeit eines Schneckengetriebemechanismus zu verbessern.

Lösung für das Problem

[0007] Gemäß der vorliegenden Erfindung ist in einem Schneckengetriebemechanismus, der eine Schnecke und ein mit der Schnecke in Eingriff stehendes Schneckenrad aufweist, zumindest eine Kopfoberfläche eines Zahns der Schnecke bogenförmig ausgebildet, und eine Mitte eines Bogenradius der Kopfoberfläche ist näher an einer Mittellinie der Schnecke als eine Teilungslinie der Schnecke angeordnet, wobei das Schneckenrad mit einem beim Zahnschneiden des Schneckenrads benutzten Fräser Zahngeschnitten ist, wobei zumindest eine Kopfoberfläche eines Zahns des Fräasers bogenförmig ausgebildet ist, und eine Mitte eines Bogenradius der Kopfoberfläche näher an einer Mittellinie des Fräasers als eine Teilungslinie des Fräasers angeordnet ist, und eine Länge des Vertiefungswegs des Schneckengetriebemechanismus, in dem die Schnecke mit dem Schneckenrad in Eingriff steht, größer eingestellt ist als eine Länge des Vertiefungswegs des Schneckengetriebemechanismus, der eine Schnecke mit involutem Profil und ein Schneckenrad mit involutem Profil hat.

[0008] Bevorzugt enthält zumindest ein Zahn des Schneckenrads einen aus Kunststoff geformten Gegenstand.

Vorteilhafte Effekte der Erfindung

[0009] Mit der vorliegenden Erfindung ist es möglich, einen Flächendruck um einen Grundkreis herum zu verringern. Da ferner der Unterschnitt eines Zahnprofils an einer Zahnbodenseite des Grundkreises beseitigt werden kann, ist es möglich, die Zahnbodenseite des Grundkreises zu einer Eingriffsfläche zu machen. Dementsprechend wird es möglich, ein Kontaktverhältnis zu erhöhen, ohne einen Durchmesser einer Zahnspitze des Schneckenrads zu vergrößern, wodurch die Festigkeit des Schneckengetriebemechanismus verbessert werden kann.

[0010] Da ferner ein Kunststoffschneckenrad einen kleineren Elastizitätsmodul hat, kann in der vorliegenden Erfindung ein Zahn leicht gebogen werden. In einem Fall, wo eine Mehrzahl solcher Zähne gleichzeitig mit Zähnen der Schnecke in Eingriff steht, wird eine Teillast an den kämmenden Zähnen größer, wenn die Eingriffstiefe geringer wird. Jedoch ist es möglich, eine große Kontaktfläche in einem Teil sicherzustellen, wo die Eingriffstiefe gering ist, wodurch der Flächendruck reduziert werden kann.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0011] Fig. 1 ist eine schematische Ansicht einer elektrischen Servolenkvorrichtung, die mit einem Schneckengetriebemechanismus gemäß der vorliegenden Erfindung ausgestattet ist.

[0012] Fig. 2 ist eine Ansicht des Gesamtaufbaus der elektrischen Servolenkvorrichtung in Fig. 1.

[0013] Fig. 3 ist eine Schnittansicht entlang Linie 3-3 von Fig. 2.

[0014] Fig. 4 ist eine Schnittansicht entlang Linie 3-4 von Fig. 2.

[0015] Fig. 5(a) und Fig. 5(b) sind Ansichten, die ein in Fig. 4 dargestelltes Schneckenrad mit einem herkömmlichen Schneckenrad vergleichen.

[0016] Fig. 6 ist eine Ansicht, die eine Verbesserungsmaßnahme für das in Fig. 5 dargestellte herkömmliche Schneckenrad darstellt.

[0017] Fig. 7 ist eine Ansicht zum Formulieren eines Fußprofils des in Fig. 5 dargestellten herkömmlichen Schneckenrads.

[0018] Fig. 8 ist eine Modellansicht zum Formulieren des Fußprofils des in Fig. 5 dargestellten herkömmlichen Schneckenrads.

[0019] Fig. 9(a) und Fig. 9(b) sind Ansichten, die eine Trochoidkurve darstellen, wenn ein Zahnspitzenbogenmittelpunkt eines in Fig. 6 dargestellten Fräsers verschoben wird (verschobene Trochoide).

[0020] Fig. 10 ist eine Ansicht, die eine Abwicklung einer in Fig. 9(a) dargestellten negativ verschobenen Trochoide und einer Wirklinie davon darstellt.

[0021] Fig. 11 ist eine Ansicht, die eine Abwicklung einer in Fig. 9(b) dargestellten Null-verschobenen Trochoide und einer Wirklinie davon darstellt.

[0022] Fig. 12 ist eine Ansicht, die eine Abwicklung einer in Fig. 9(c) dargestellten positiv verschobenen Trochoide und einer Wirklinie davon darstellt.

[0023] Fig. 13 ist eine Ansicht, die einen Grund eines Problems in dem in Fig. 5(a) dargestellten herkömmlichen Schneckenrads darstellt.

[0024] Fig. 14 ist eine vergrößerte Ansicht eines Hauptteils eines Schneckenrads, in dem ein Zahnprofil einer Zahnwurzel durch die in Fig. 9(c) dargestellte positiv verschobene Trochoide gebildet ist.

[0025] Fig. 15 ist eine Ansicht, die den Eingriff einer Schnecke mit einem Schneckenrad mittels des in Fig. 14 dargestellten Zahnprofils darstellt.

[0026] Fig. 16 ist eine Ansicht, die einen Zustand darstellt, in dem eine Schnecke, die basierend auf der in Fig. 15 dargestellten Schnecke begradigt ist, mittels eines in Fig. 14 dargestellten Zahnprofils mit einem Schneckenrad in Eingriff steht.

[0027] Fig. 17 ist ein Graph, der den Eingriff des in Fig. 14 dargestellten Schneckenrads mit dem Eingriff eines herkömmlichen Schneckenrads vergleicht.

[0028] Fig. 18(a) und Fig. 18(b) sind Ansichten, die den in Fig. 14 dargestellten Eingriff im Detail vergleichen.

[0029] Fig. 19(a) und Fig. 19(b) sind Ansichten, die einen Test zum Verifizieren der Leistungsfähigkeit des Eingriffs des in Fig. 14 dargestellten Schneckenrads darstellen.

[0030] Fig. 20 ist ein Graph, der ein Ergebnis des in Fig. 19 dargestellten Tests darstellt.

[0031] Fig. 21 ist ein Ansicht, die ein Problem in dem Zahnprofil des in Fig. 5(a) dargestellten herkömmlichen Schneckenrads darstellt.

[0032] Fig. 22 ist eine Ansicht, die eine Bewegung eines Fräasers während des Zahnfräsens des in Fig. 21 dargestellten Schneckenrads darstellt.

[0033] Fig. 23 ist eine Ansicht, die eine Bewegung einer Zahnspitze des in Fig. 22 dargestellten Fräasers darstellt.

[0034] Fig. 24 ist eine Ansicht, die eine Maßnahme zur Nicht-Bildung eines verengten Teils darstellt, das in dem in Fig. 21 dargestellten Schneckenrad gebildet wird.

[0035] Fig. 25(a) und (b) sind Ansichten, die das in Fig. 21 dargestellte Schneckenrad mit dem in Fig. 4 dargestellten Schneckenrad ohne Unterschnitt vergleichen.

[0036] Fig. 26 ist eine Ansicht, die ein Fußprofil darstellt, das durch die in Fig. 25(b) dargestellte positiv verschobene Trochoide gebildet wird.

[0037] Fig. 27 ist eine Ansicht, die die in Fig. 26 dargestellte Trochoidkurve ergänzt.

[0038] Fig. 28 ist eine Ansicht, die die in Fig. 26 dargestellte Trochoidkurve weiter ergänzt.

[0039] Fig. 29 ist eine Ansicht, die den Eingriff des Schneckenrads mit der in Fig. 25 dargestellten Schnecke darstellt.

[0040] Fig. 30 ist eine Ansicht, die ein Zahnschneidwerkzeug (Fräser) zum Formen des in Fig. 25 dargestellten Schneckenrads darstellt.

[0041] Fig. 31 ist eine Ansicht, die ein Zahnprofil eines Schneckenrads darstellt, das durch den in Fig. 30 dargestellten Fräser geformt ist.

[0042] Fig. 32 ist eine Ansicht, die den Eingriff des in Fig. 5(a) dargestellten herkömmlichen Schneckenrads (involutes Profil) darstellt.

[0043] Fig. 33 ist eine Ansicht, die den Eingriff des in Fig. 5(b) dargestellten Schneckenrads gemäß der vorliegenden Erfindung darstellt.

[0044] Fig. 34 ist eine vergrößerte Ansicht eines Teils 34 in Fig. 32.

[0045] Fig. 35 ist eine vergrößerte Ansicht eines Teils 35 in Fig. 33.

[0046] Fig. 36 ist eine Ansicht, die eine Begradigung eines Zahnprofils des in Fig. 35 dargestellten Schneckenrads darstellt.

[0047] Fig. 37 ist eine Ansicht, die eine Modifikation des in Fig. 36 dargestellten Schneckenrads darstellt.

[0048] Fig. 38 ist eine Ansicht, die einen Begradigungsbetrag darstellt, den ein Fräser benötigt, um das in Fig. 35 dargestellte Schneckenrad zu formen.

BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGEN

[0049] Nachfolgend wird eine Ausführung zur Ausführung der vorliegenden Erfindung in Bezug auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben.

Ausführung

[0050] Es wird ein Beispiel beschrieben, in dem ein Schneckengetriebemechanismus gemäß einer Ausführung in einer elektrischen Servolenkvorrichtung angebracht ist und die elektrische Servolenkvorrichtung in einem Fahrzeug verwendet wird.

[0051] Wie in **Fig. 1** dargestellt, enthält eine elektrische Servolenkvorrichtung **10**: ein Lenksystem **20**, das von einem Lenkrad **21** eines Fahrzeugs zu gelenkten Rädern **29** und **29** (z. B. Vorderrädern) des Fahrzeugs reicht; und einen Hilfsdrehmomentmechanismus **40**, der konfiguriert ist, um auf das Lenksystem **20** ein Hilfsdrehmoment auszuüben.

[0052] In dem Lenksystem **20** ist das Lenkrad **21** durch eine Lenkwelle **22** und Universalwellenkupplungen **23** und **23** mit einer Ritzelwelle **24** gekoppelt, wobei eine Zahnstange **26** mit der Ritzelwelle **24** durch einen Zahnstangenwechselmechanismus **25** gekoppelt ist, und die rechten und linken gelenkten Räder **29** und **29** mit beiden Enden der Zahnstange **26** durch rechte und linke Spurstangen **27** und **27** und Achsschenkel **28** und **28** gekoppelt sind.

[0053] Der Zahnstangen- und Ritzelmechanismus **25** enthält ein in der Ritzelwelle **27** ausgebildetes Ritzel **31** und eine in der Zahnstange **26** ausgebildete Verzahnung **32**.

[0054] Mit dem Lenksystem **20** ist es möglich, die rechten und linken gelenkten Räder **29** und **29** durch den Zahnstangen- und Ritzelmechanismus **25** und die linken und rechten Spurstangen **27** und **27** zu lenken, indem ein Fahrer das Lenkrad **21** lenkt.

[0055] Der Hilfsdrehmomentmechanismus **40** ist ein Mechanismus, in dem ein Lenkdrehmomentsensor **41** ein Lenkmoment des Lenksystems **20** erfasst, das auf das Lenkrad **21** ausgeübt wird. Ein Controller **42** erzeugt ein Steuersignal basierend auf einem Drehmomenterfassungssignal des Lenkdrehmomentsensors **41**. Ein Elektromotor **43** erzeugt das Hilfsdrehmoment gemäß dem Lenkdrehmoment basierend auf dem Steuersignal. Das Hilfsdrehmoment wird auf die Ritzelwelle **24** durch einen Schneckengetriebemechanismus **44** übertragen. Ferner wird das Hilfsdrehmoment zu der Ritzelwelle **24** auf den Zahnstangen- und Ritzelmechanismus **25** in dem Lenksystem **20** übertragen.

[0056] Der Lenkdrehmomentsensor **41** erfasst das auf die Ritzelwelle **24** ausgeübte Drehmoment und gibt es als Drehmomenterfassungssignal aus. Er kann z. B. aus einem Magnetostruktions-Drehmomentsensor oder einem Torsionsstangen-Drehmomentsensor aufgebaut sein.

[0057] Gemäß der elektrischen Servolenkvorrichtung **10** ist es möglich, die gelenkten Räder **29** und **29** durch die Zahnstange **26**, durch ein zusammengesetztes Drehmoment zu lenken, worin das Hilfsdrehmoment des Elektromotors **43** zu dem Lenkdrehmoment vom Fahrer hinzugefügt wird.

[0058] Wie in **Fig. 2** dargestellt, erstreckt sich ein Gehäuse **51** in Fahrzeugbreitenrichtung (Rechts- und Linksrichtung in der Figur) und nimmt die Zahnstange **26** in Stangenrichtung verschiebbar auf. Mit beiden Enden der Zahnstange **26**, die von dem Gehäuse **51** in Längsrichtung vorstehen, sind die Spurstangen **27** und **27** durch Kugelgelenke **52** und **52** gekoppelt.

[0059] Wie in **Fig. 3** dargestellt, nimmt die elektrische Servolenkvorrichtung **10** die Ritzelwelle **24**, den Zahnstangenritzelmechanismus **25**, den Lenkdrehmomentsensor **41** und einen Schneckengetriebemechanismus **44** innerhalb des Gehäuses **51** auf, und eine Oberteilöffnung des Gehäuses **51** ist mit einem Oberteildeckelabschnitt **53** abgedeckt. Der Lenkdrehmomentsensor **41** ist an dem Oberteildeckelabschnitt **53** angebracht.

[0060] Das Gehäuse **51** trägt drehbar einen oberen Abschnitt **24u**, einen Längsmittelabschnitt **24m** und einen unteren Endabschnitt **24d** der sich vertikal erstreckenden Ritzelwelle **24** mit drei Lagern (erstes Lager **55**, zweites Lager **56** und drittes Lager **57** der Reihe nach von oben nach unten). Daran ist ferner der Elektromotor **43** angebracht, und es ist mit einer Zahnstangenführung **60** versehen. Als die drei Lager **55** bis **57** werden Wälzlager verwendet.

[0061] Die Zahnstangenführung **60** ist eine Zahnstangendruckeinheit, enthaltend einen Führungsabschnitt **61**, der die Zahnstange **26** von einer entgegengesetzten Seite der Stangenverzahnung **32** berührt, sowie einen Einstellbolzen **63**, der den Führungsabschnitt **61** durch eine Druckfeder drückt.

[0062] Wie in **Fig. 4** dargestellt, ist der Elektromotor **43** an einer Seitenfläche des Gehäuses **51** angebracht und ist mit einer horizontalen Motorwelle (Ausgangswelle) **43a** versehen. Die Motorwelle **43a** erstreckt sich innerhalb des Gehäuses **51** und ist durch eine Wellenkupplung **45** mit einer Schneckenwelle **46** gekoppelt. Das Gehäuse **51** trägt drehbar beide Endteile **46a** und **46b** der sich horizontal erstreckenden Schneckenwelle **46** durch Lager **47** und **48**, während es eine Bewegung in Wellenrichtung begrenzt. Die beiden Lager **47** und **48** sind Wälzlager.

[0063] Der Schneckengetriebemechanismus **44** ist ein Hilfsdrehmomentübertragungsmechanismus oder Verstärkermechanismus, der das vom Elektromotor **43** erzeugte Hilfsdrehmoment auf die Ritzelwelle **24** überträgt. Genauer gesagt, der Schneckengetriebemechanismus **44** enthält eine Schnecke **70** und ein Schneckenrad, **80**, das mit der Schnecke in Eingriff steht. Nachfolgend wird das Schneckenrad **80** als „Rad **80**“ abgekürzt. Relativ zur Mittellinie WL der Schnecke **70** ist eine Mittellinie CL des Rads **80** im Wesentlichen rechtwinklig angeordnet. Die Mittellinie CL des Rads **80** ist auch die Mittellinie CL der Ritzelwelle **24**.

[0064] Die Schnecke **70** ist ein Metallprodukt, das einstückig mit der Schneckenwelle **46** ausgebildet ist, und ist z. B. ein Stahlprodukt, wie etwa Kohlenstoffstahlmaterial für mechanische Strukturen (JIS-G-4051). Das gesamte Rad **80** oder zumindest ein Zahn **81** davon ist ein Kunststoffprodukt, wie etwa Nylonharz. Da die Schnecke **70**, die das Metallprodukt ist, mit dem Rad **80**, das das Kunststoffprodukt ist, in Eingriff steht, ist es möglich, den Eingriff vergleichsweise glatt zu machen, während ferner Geräusche reduziert werden.

[0065] Ein Schraubgewinde **71** (oder ein Zahn **71**) der Schnecke **70** ist als Einzelgewinde ausgebildet. Am Außenumfang des Rads **80** ist eine Mehrzahl von Zähnen **81** ausgebildet, die an ihrem gesamten Umfang gleiche Teilung haben. Das Rad **80** ist so angebracht, dass eine relative Bewegung in der Wellenrichtung relativ zur Ritzelwelle **24** begrenzt ist, während auch eine relative Drehung davon begrenzt ist. Zum Beispiel ist das Rad **80** durch eine Längsverzahnung oder Verkeilung in Drehrichtung relativ zur Ritzelwelle **24** gekoppelt, während es durch einen Schnapping in der Wellenrichtung angebracht ist. Durch Eingriff des Rads **80** an einer Lastseite mit der Schnecke **70** an der Antriebsseite ist es möglich, ein Drehmoment von der Schnecke **70** durch das Rad **80** auf die Last zu übertragen.

[0066] Von diesem Schneckengetriebemechanismus **44** werden verschiedene Leistungen gefordert. Aufzulisten sind zum Beispiel eine Verbesserung des Kontaktverhältnisses und eine Verbesserung der Festigkeit. Details werden anhand der nächsten Zeichnung und folgendem beschrieben.

[0067] Zuerst wird ein in **Fig. 21** dargestellter herkömmlicher Schneckengetriebemechanismus **200** beschrieben. Ein Zahnprofil des Schneckenrads **220** des Schneckengetriebemechanismus **200** ist ein involutes Profil mit einer Zahnspitze **221a**, einem Zahnboden **221c**, einem Grundkreis **301** und einem Teilkreis (Eingriffsteilkreis) **302**. An der Außenumfangsseite des Grundkreises **301** ist eine Zahndicke W_2 an einem Teil, wo ein Zahn **221** die maximale Dicke hat. Herkömmlich ist, zur Verbesserung des Kontaktverhältnisses und zur Verbesserung der Festigkeit des Schneckengetriebemechanismus **200**, ein Verfahren bekannt gewesen, eine Zahntiefe HT des Rads **220** mit dem involuten Profil zu vergrößern.

[0068] Wenn jedoch das Schneckenrad **220** einer Zahnfräsung mittels eines Fräasers unterliegt, tritt an einer Zahnwurzel **221b** ein Unterschnitt auf. An einer Seite, die einer Mitte des Rads **220** näher ist als der Grundkreis **301**, ist an einem Teil, wo der Zahn **221** die maximale Dicke erreicht hat, die Zahndicke W_1 . Da auf diese Weise die Zahnwurzel **221b** ein schmales Teil hat, ist die Zahndicke W_1 kleiner als W_2 . Infolgedessen wird die Biegefestigkeit des Zahns **221** verringert. Ferner hat das Zahnprofil des Rads **220** eine vorstehende Form mit einem kleinen Krümmungsradius an einem Teil um den Grundkreis **301** herum. Da dies die vorstehende Form mit dem kleinen Krümmungsradius ist, nimmt eine Kontaktfläche, die mit der Schnecke in Kontakt steht, ab. Im Ergebnis nimmt ein Eingriffskontaktflächendruck zu. Das heißt, wenn die Zahntiefe HT des Rads **220** mit dem involuten Profil vergrößert wird, nehmen die Biegefestigkeit und die Flächendruckfestigkeit tendenziell ab.

[0069] Wie in **Fig. 22** dargestellt, wird das Zahnprofil des Rads **220** mit einem Fräser (Schneidfräser) **230** geformt. Eine Teilungsmitte **231Ce** eines Zahns **231** des Fräasers **230** wird an einem Teil einer Linie **312** (Teilungshöhe **312**) angeordnet. Eine Ortskurve der Teilungsmitte **231Ce** ist mit einer Linie **311** dargestellt. Wie aus der Ortskurve **311** klar wird, bewegt sich der Zahn **231** des Fräasers **230** so, dass er auf einem Teilkreis **302** des Rads **220** abwälzt, und das Zahnprofil des Rads **220** erzeugt (oder formt). Hierbei höhlt eine Zahnspitze **231a** des Fräasers **230** ein Teil aus, das tiefer liegt als der Grundkreis **301** einer Zahnoberfläche (eine dem Zahnboden benachbarte Fläche) des Rads **220**.

[0070] Wie in **Fig. 23** dargestellt, ist ein Eckabschnitt der Zahnspitze **231a** des Zahns **231** des Fräasers **230** zu einem Bogen mit einem vorbestimmten kleinen Krümmungsradius geformt. Eine Ortskurve in der Mitte **231b** eines Bogens am Endabschnitt der Zahnspitze **231a** ist mit einer Linie **313** bezeichnet. Die vorliegenden Erfinder haben die Erkenntnis erlangt, dass eine Fläche der Zahnwurzel **221b** durch die Mitte **231b** des Bogens, der sich zur Bildung des Kreises bewegt, in einer vertieften Form ausgebildet wird (schmale Teilform). Das heißt, die Ortskurve **313** der Mitte **231b** des Bogens am Eckabschnitt der Zahnspitze **231a** erzeugt einen Kreis an einer Position an der Mittelseite des Grundkreises **301**, wodurch dies als ein Faktor betrachtet wird, der ein Unterschneidungsphänomen hervorruft (Unterschnitt). Eine Länge von der Linie **312** zur Mitte **231b** einer Bogenform ist h . Die Länge h wird als Hebellänge bezeichnet.

[0071] Um zu verhindern, dass dieses Unterschneidungsphänomen (Unterschneiden) auftritt, ist es, wie in **Fig. 24** dargestellt, möglich, die Zahntiefe H_{Th} des Fräasers **230** zu verringern. Durch Verringern der Zahntiefe H_{Th} wird die Ortskurve **313** der Mitte **231b** des Bogens am Eckabschnitt der Zahnspitze **231a** (die Mitte **231b** des Bogens erzeugter Kreis) klein an einer Seite, die der Mitte des Rads **220** näher ist als der Grundkreis **301**. Dementsprechend ist es unwahrscheinlicher, dass das Unterschneidungsphänomen (Unterschnitt) hervorgerufen wird. Wenn jedoch die Zahntiefe H_{Th} des Fräasers **230** verringert wird, ist es weniger wahrscheinlich, dass das Unterschneidungsphänomen verursacht wird; jedoch wird auch die Zahntiefe H_T des Rads **220** verkleinert.

[0072] Zurück zu **Fig. 23**. Die Ortskurve **313** der Mitte **231b** des Bogens am Endabschnitt der Zahnspitze **231a** des Zahns **231** des Fräasers **230** wird erneut betrachtet. Die Ortskurve **313** bildet eine „negativ verschobene Trochoidkurve“. Die vorliegenden Erfinder haben berücksichtigt, dass der Grund dafür, warum die Ortskurve **313** die negativ verschobene Trochoidkurve bildet, darin liegt, dass die Mitte **231b** des Bogens an dem Eckabschnitt an der Seite existiert, die der Zahnspitze **231a** näher ist als die Teilungshöhe **312**. Das heißt, indem die Ortskurve **313** die negativ verschobene Trochoidkurve bildet, erzeugt der Eckabschnitt der Zahnspitze **231a** des Fräasers **230** eine Zahnschneidwirkung, um einen Kreis an der Seite zu bilden, die der Mitte näher ist als der Grundkreis **301**. Eine Fläche der Zahnwurzel **221b** wird durch den Eckabschnitt der Zahnspitze **231a** des Fräasers **230** unterschritten. Im Ergebnis tritt an der Seite der Zahnwurzel **221b** ein Unterschnitt auf.

[0073] Als nächstes wird das in **Fig. 22** dargestellte herkömmliche Rad **220** mit dem in **Fig. 4** dargestellten Rad **80** gemäß der Ausführung basierend auf den **Fig. 25(a)** und **Fig. 25(b)** verglichen.

[0074] **Fig. 25(a)** ist eine schematische Ansicht, die den Teilkreis **302** des in **Fig. 22** dargestellten herkömmlichen Rads **220** und das Zahnprofil des Zahns **231** des Fräasers **230** zum Schneiden der Verzahnung vom Rad **220** darstellt. Der Zahn **231** des Fräasers **230** ist größer dargestellt als das Rad **220**. Das Zahnprofil des Zahns **231** des herkömmlichen Fräasers **230** hat ein involutes Profil, und der Eckabschnitt der Zahnspitze **231a** ist bogenförmig ausgebildet. Die Mitte **231b** des Bogens ist an der Zahnspitzen-**231a**-Seite relativ zu der Teilungslinie **312** des Fräasers **230** angeordnet (an der Zahnwurzelseite des Zahns des Rads **220**). In diesem Fall bildet die Ortskurve **313** der Mitte **231b** eine negativ verschobene Trochoidkurve.

[0075] **Fig. 25(b)** ist eine schematische Ansicht, die einen Teilkreis **112** des Rads **80** gemäß der in **Fig. 4** dargestellten Ausführung darstellt, sowie ein Zahnprofil eines Zahns **91** eines Fräasers **90** zum Schneiden der Verzahnung des Rads **80**. Der Zahn **91** des Fräasers **90** ist größer dargestellt als das Rad **80**. Das Zahnprofil des Zahns **91** des Fräasers **90** gemäß der Ausführung ist das involute Profil. Übrigens wird jedoch eine Kopf (Addendum)-Oberfläche **91c** des Zahns **91** zu einer Bogenform mit einem großen Krümmungsradius begründet. Dies verhindert, dass die Ortskurve **313** der Mitte **93** des Bogens der Kopfoberfläche **91c** (nachfolgend als „Kopfoberflächenmitte **93**“ bezeichnet) zur negativ verschobenen Trochoide wird. Insbesondere ist die Mitte **93** der Kopfoberfläche **91c** relativ zu einer Teilungslinie **94** näher einer Mittellinie (Achslinie) WL' des Fräasers **230** positioniert wird. Dementsprechend bildet die Ortskurve **313** der Kopfoberflächenmitte **93** eine positiv verschobene Trochoide. Es wird also möglich, eine herkömmliche Ortskurve, die einen Kreis bildet, zu vermeiden, indem man sie zur positiv verschobenen Trochoide macht.

[0076] Die obigen Beschreibungen lassen sich wie folgt zusammenfassen. Der Zahn **91** des Fräasers **90** gemäß der Ausführung wird so ausgebildet, dass zumindest die Kopfoberfläche **91c** eine Bogenform hat. Die Mitte **93** des Bogenradius der Kopfoberfläche **91c** ist der Mittellinie (Achslinie) WL des Fräasers **90** näher angeordnet als die Teilungslinie **94** des Fräasers **90**.

[0077] Es ist bevorzugt, dass die Schnecke **70**, die mit dem Rad **80** in Eingriff steht, mit einer Form ausgebildet wird, die jener des Fräasers **90** ähnlich ist. Das heißt, zumindest eine Kopfoberfläche **71c** des Zahns **791** der Schnecke **70** wird bogenförmig ausgebildet. Eine Mitte **73** des Bogenradius der Kopfoberfläche **71c** ist der Mittellinie (Achslinie) WL der Schnecke **70** näher angeordnet als eine Teilungslinie **74** der Schnecke **70**.

[0078] Wie in **Fig. 26** dargestellt, bildet die Ortskurve der Mitte **93** der Kopfhöhenoberfläche des Rads **80** gemäß der Ausführung eine positiv verschobene Trochoidkurve, wie mit der Linie **313** angegeben. Der Zahn **81** des Rads **80**, der durch den sich entlang der Linie **313** (Ortskurve **313**) bewegenden Fräasers **90** gebildet wird, wird mit einer Form ausgebildet, die in der Zahnwurzel **81c** keine Unterschneidung aufweist. Die Bezugszahl **81a** bezeichnet eine Zahnschneidung des Zahns **81** des Rads **80**. Die Bezugszahl **81b** bezeichnet einen Zahnboden des Zahns **81**.

[0079] Hier wird die Trochoidkurve, die ein Prinzip der vorliegenden Erfindung ist, basierend auf den **Fig. 27** und **Fig. 28** erläutert. Zuerst erhält man, in Bezug auf **Fig. 27**, für einen auf einem festen Kreis **401** abwälzenden Wälzkreis **402a** eine Ortskurve eines Punkts (mit Koordinaten X und Y) innerhalb des Wälzkreises **402a** oder die Trochoidkurve, wie folgt. Übrigens ist der feste Kreis **401** ein Kreis, der einen Teilkreis des Rads **80** annimmt. Die Bezugszahl **402a** bezeichnet einen Wälzkreis, der sich auf dem festen Kreis **401** abwälzt. Die Bezugszahl **402b** bezeichnet einen Wälzkreis, der auf dem festen Kreis **401** einen vorbestimmten Abstand von **402a** abgewälzt hat. Die Linie **403** bezeichnet eine Ortskurve des Punkts (X, Y) innerhalb des Wälzkreises **402**. Das heißt, die Linie **403** ist die Trochoidkurve. Die Bezugszahl P1 bezeichnet einen Punkt auf der Linie **403** in dem Wälzkreis **402a** und wird als Hebelspitze bezeichnet. Das Bezugszeichen h ist eine Länge (Hebellänge) vom Punkt P1 zu dem festen Kreis **401**.

[0080] In Bezug auf **Fig. 27** erhält man für den Wälzkreis **402**, der auf dem festen Kreis **401** abwälzt, die Ortskurve des Punkts (X, Y) innerhalb des Wälzkreises **402b**, oder die Trochoidkurve, wie folgt:

[Mathematische Formel 1]

$$\begin{aligned} X' &= (r + r_p)\sin\theta \\ Y' &= (r + r_p)\cos\theta \end{aligned}$$

$$X - X' = -(r - h)\sin\left(\frac{r + r_p}{r}\theta\right)$$

$$Y - Y' = -(r - h)\cos\left(\frac{r + r_p}{r}\theta\right)$$

Daher

$$X = (r + r_p)\sin\theta - (r - h)\sin\left\{\left(1 + \frac{r_p}{r}\right)\theta\right\}$$

$$Y = (r + r_p)\cos\theta - (r - h)\cos\left\{\left(1 + \frac{r_p}{r}\right)\theta\right\}$$

(11)

[0081] In Bezug auf die **Fig. 28** wird ein Fall betrachtet, worin ein Radius vom Wälzkreis (siehe Bezugszahl **402** in **Fig. 27**), der die Trochoidkurve **403** bildet, ∞ ist.

[Mathematische Formel 2]

$$\begin{aligned} X' &= r_p\sin\theta \\ Y' &= r_p\cos\theta \\ X'' - X' &= -r_p\theta\cos\theta \\ Y'' - Y' &= r_p\theta\sin\theta \end{aligned}$$

$$X - X'' = -h\sin\theta$$

$$Y - Y'' = h\cos\theta$$

Daher

$$X = (r_p + h)\sin\theta - r_p\theta\cos\theta$$

$$Y = (r_p + h)\cos\theta + r_p\theta\sin\theta$$

(12)

[0082] Hier betrachte man wieder die Formel (11)

$$\begin{aligned}
 X &= (r + r_p)\sin\theta - (r - h)\sin\left\{\left(1 + \frac{r_p}{r}\right)\theta\right\} \\
 &= (r + r_p)\sin\theta - (r - h)\left\{\sin\theta \cdot \cos\left(\frac{r_p}{r}\theta\right) + \cos\theta \cdot \sin\left(\frac{r_p}{r}\theta\right)\right\} \\
 &= (r + r_p)\sin\theta - (r - h)\left\{\sin\theta + \cos\theta \cdot \frac{r_p}{r}\theta\right\}
 \end{aligned}$$

Substitution von $+\infty$ für γ resultiert in

$$\frac{y_p}{\gamma}\theta = 0,$$

und dann

$$X = (y_p + h)\sin\theta - y_p\theta\cos\theta$$

Ähnlich,

$$Y = (r_p + h)\cos\theta + r_p\theta\sin\theta$$

[0083] Es hat sich herausgestellt, dass dies der Formel (2) entspricht.

[0084] Diese Formel wird beim Frässhneiden verwendet.

[0085] Hier wird ein Vergleich des herkömmlichen Schneckengetriebemechanismus **200** mit dem Schneckengetriebemechanismus **44** gemäß der Ausführung beschrieben. **Fig. 29** ist eine Ansicht, die einen Eingriffszustand des herkömmlichen Schneckengetriebemechanismus **200** darstellt. Der Schneckengetriebemechanismus **200** enthält eine Schnecke **210** und das Schneckenrad **220**. Ein Zahnprofil von jedem der Zähne der Schnecke **210** und des Rads **220** ist ein involutes Profil. Ein Schnittpunkt einer Zahnspitze des Zahns der Schnecke **210** und des Grundkreises **301** des Rads **220** ist ein erster Schnittpunkt P11. Ein Schnittpunkt einer Teilungslinie **332** der Schnecke **210** und des Teilkreises **302** des Rads **220** ist ein zweiter Schnittpunkt P12. Eine gerade Linie, die durch den ersten Schnittpunkt P11 und den zweiten Schnittpunkt P12 hindurchgeht, wird als Eingriffslinie **321** bezeichnet. Ein Schnittpunkt der Eingriffslinie **321** und eines Zahnspitzenkreises **305** des Rads **220**, der Schnittpunkt P11 mit dem dritten Schnittpunkt P13, wird als „Kontaktweglänge“ bezeichnet.

[0086] Die Schnecke **210** und das Rad **220** können in einem Bereich der Kontaktweglänge auf der Eingriffslinie **321** miteinander in Eingriff stehen. Der Grundkreis **301** des Rads **220** mit dem involuten Profil wird eindeutig durch ein Modul, eine Zahnzahl und einen Verdrehwinkel bestimmt. Daher wird auch eine Position des zweiten Schnittpunkts P13 eindeutig bestimmt. Um die Kontaktweglänge länger zu machen, ist es erforderlich, einen Außendurchmesser des Rads **220** zu vergrößern. Dementsprechend besteht ein Problem darin, dass der Schneckengetriebemechanismus **200** nicht verkleinert werden kann.

[0087] Ferner wird in einem Fall, wo der herkömmliche Schneckengetriebemechanismus **200** in einer elektrischen Servolenkvorrichtung für ein Fahrzeug verwendet wird, für den Zahn **221** des Rads **220** häufig ein Kunststoffmaterial verwendet. In dem Rad **220**, das das Kunststoffmaterial verwendet, ist ein Elastizitätsmodul des Rads klein, wodurch sich der Zahn **221** leicht verbiegt. In einem Fall, wo eine Mehrzahl von Zähnen **221** gleichzeitig miteinander in Eingriff stehen, ist, je niedriger die Eingriffstiefe ist, eine Teillast an dem eingreifenden Zahn **221** größer. Das heißt, die an jedem der Zähne **221** wirkende Last wird größer.

[0088] Ferner wird in dem involuten Profil der Krümmungsradius kleiner, wenn er sich dem Grundkreis **301** annähert. Ein Eingriffsflächendruck um den Grundkreis **301** herum ist sehr groß im Vergleich zu dem Eingriffsflächendruck um den Teilkreis **302** herum. Dementsprechend besteht ein Problem darin, dass es schwierig wird, die Eingriffslinie **321** näher zur Seite der Radmitte hin zu verlängern als der Grundkreis **301**.

[0089] Ein Zahnprofil des Zahns **231** des herkömmlichen Fräasers wie in **Fig. 30** mit der gestrichelten Linie angegeben, ist eine involute Form worin eine eingreifende Zahnoberfläche eine gerade Linie ist. Im Gegensatz hierzu ist in einem Zahnprofil des Zahns **91** des Fräasers **90** der Ausführung, wie in **Fig. 30** mit durchgehender Linie angegeben, ein Teil einer Kopfoberfläche **91c** dünner gemacht als jener in der involuten Form. Insbe-

sondere wird ein Teil der Kopfoberfläche **91c** des Zahns **91** des Fräasers **90** gemäß der Ausführung in der Zahndicke geringer, so dass sie eine angenäherte Bogenform hat, die sich auf einer involuten Kurve abstützt.

[0090] Der Zahn **221** des herkömmlichen Rads **220**, wie in **Fig. 31** mit der gestrichelten Linie angegeben, ist mit dem herkömmlichen Fräser **230** geschnitten worden (siehe **Fig. 30**). In dem herkömmlichen Zahn **221** tritt, in dessen Fußhöhenoberfläche, das Unterschneidungsphänomen (Unterschnitt) auf. Im Ergebnis bildet eine Zahnoberfläche des Zahns **221** eine merklich vorstehende Form um den Grundkreis **301** herum.

[0091] Im Gegensatz hierzu wird ein Zahn **81** des Zahns **80** in der Ausführung, wie in **Fig. 31** mit der durchgehenden Linie angegeben, mit dem Fräser **90** der Ausführung geschnitten. Die Zahndicke des Zahns **91** des Fräasers **90** ist dünn. An einer Fußoberfläche des Zahns **81** des Rads **80** tritt kein Unterschneidungsphänomen (Unterschnitt) auf. Im Ergebnis bildet eine Zahnoberfläche des Zahns **81** keine vorstehende Form um den Grundkreis **111** herum. Es wird möglich, einen Flächendruck zu verringern, der auf die Zahnoberfläche des Zahns **81** wirkt.

[0092] **Fig. 32** ist eine Ansicht, die einen Eingriffszustand des herkömmlichen Schneckengetriebemechanismus **200** darstellt, und ist entsprechend der oben beschriebenen **Fig. 29** dargestellt. Wie in **Fig. 34** mit dem hohlen Pfeil angegeben, steht die Schnecke **210** mit dem Rad **220** um den Grundkreis **301** herum (auf der Eingriffslinie **321**) in Eingriff.

[0093] **Fig. 33** ist eine Ansicht, die einen Eingriffszustand des Schneckengetriebemechanismus **44** gemäß der Ausführung darstellt, und ist entsprechend der oben beschriebenen **Fig. 29** dargestellt. Wie **Fig. 35** mit der hohlen Pfeilmarkierung angegeben, steht die Schnecke **70** mit dem Rad **80** an einer Position in Eingriff, die dem Zahnboden näher ist als der Grundkreis **111**. Eine Bezugszahl **121** bezeichnet eine Eingriffslinie des Rads **80** und der Schnecke **70**.

[0094] **Fig. 36** ist eine Ansicht, die eine Änderung im Zahnprofil des Zahns **81** des Rads **80**, durch Veränderung eines Begradigungsbetrags der Zahndicke des Zahns vom Fräser darstellt. Der Zahn **221** des herkömmlichen Rads **220** in **Fig. 36** ist mit einer gestrichelten Linie dargestellt und hat eine vertiefte Fuß-(Dedendum)-Oberfläche. Das heißt, aufgrund der Fußoberfläche wird ein Unterschnitt verursacht. Dies ist so, weil ein Zahn des Zahns **231** des Fräasers **230** (siehe **Fig. 23**) überhaupt nicht begradigt ist.

[0095] Im Gegensatz hierzu ist in der Ausführung, wie in **Fig. 25(b)** dargestellt, der Zahn **91** des Fräasers **90** begradigt worden. Das Zahnprofil des Zahns **91** des Rads **80** ist in einem Fall, wo der Begradigungsbetrag des Zahns **91** gering ist, in **Fig. 36** mit einer dünnen durchgehenden Linie angegeben. Eine Zahnfußdicke des Zahns **81** ist größer als zuvor. Das Zahnprofil des Zahns **81** des Rads **80** ist in einem Fall, wo der Begradigungsbetrag des Zahns **91** groß ist, in **Fig. 36** mit einer dicken durchgehenden Linie angegeben. Die Zahnfußdicke des Zahns **81** ist noch größer.

[0096] Auf diese Weise nimmt, wenn der Begradigungsbetrag des Zahns **91** vom Fräser **90** größer wird, die Vertiefung am Zahn **81** der Fußhöhenoberfläche des Rads **80** ab, und wird auch die Zahnfußdicke größer. Ferner wird ein Krümmungsradius der Zahnoberfläche des Zahns **81** um den Grundkreis **111** herum größer. Das heißt, die Zahnoberfläche des Zahns **81** bildet keine große vorstehende Form um den Grundkreis **111** herum, wie zuvor.

[0097] Der Zahn **81** des Rads **80** gemäß der oben beschriebenen Ausführung kann auch ein Zahn **81X** des Rads **80X** gemäß einer in **Fig. 37** dargestellten Modifikation sein. In dem Zahn **81X** des Rads **80X** gemäß der Modifikation ist zumindest ein Teil der Zahnfußdicke größer gemacht als eine Zahnfußdicke des Zahns **221** des herkömmlichen Rads **220**. Daher ist es mit dem Zahn **81X** gemäß der Modifikation möglich, einen gleichen Effekt wie beim Zahn **81** gemäß der Ausführung zu erlangen. Genauer gesagt, das Zahnprofil des Zahns **221** des herkömmlichen Rads **220** ist in **Fig. 37** mit der gestrichelten Linie angegeben. Das Zahnprofil des Zahns **81** des Rads **80** gemäß der Ausführung ist in **Fig. 37** mit der dünnen durchgehenden Linie angegeben. Das Zahnprofil des Zahns **81X** des Rads **80X** gemäß der Modifikation ist in **Fig. 37** mit der dicken durchgehenden Linie angegeben.

[0098] Das Zahnprofil des Zahns **81X** gemäß der Modifikation ist z. B. als Zwischenform des Zahnprofils des herkömmlichen Zahns **221** und des Zahnprofils des Zahns **81** gemäß der Ausführung ausgebildet. Zum Beispiel ist eine Fußhöhe des Zahns **81** gemäß der Ausführung gleich einer Fußhöhe des herkömmlichen Zahns **221**. Jedoch ist die Fußhöhe des Zahns **81X** gemäß der Modifikation kleiner als die Fußhöhe des Zahns **81** gemäß der Ausführung. Ferner ist die Zahnfußdicke des Zahns **81X** gemäß der Modifikation größer als die

Zahnfußdicke des herkömmlichen Zahns **221**, aber ist kleiner als die Zahnfußdicke des Zahns **81** gemäß der Ausführung. Übrigens ist jedoch in der Fußoberfläche des Zahns **81X** gemäß der Modifikation keine Vertiefung vorhanden.

[0099] Der Zahn **81X** gemäß der Modifikation hat ein spezielles Zahnprofil, wodurch es mit einer Maschine zum Erzeugen eines involuten Profils, wie etwa einer Abwälzfräsmaschine, hergestellt werden, jedoch kann es durch Spritzgießen mittels einer Metallform oder durch Fräsen direkt hergestellt werden. Das heißt, in der Ausführung wird die Flächendruckfestigkeit und die Biegefestigkeit des Zahns **81** durch ein indirektes Verfahren zum Erzeugen des Zahns **81** des Rads **80** mit einem Fräser verbessert, der eine begradigte Zahndicke hat. Im Gegensatz hierzu kann in der Modifikation der Zahn **81X** direkt erzeugt werden, um die Flächendruckfestigkeit und die Biegefestigkeit des Zahns **81X** zu verbessern. Dementsprechend kann das Zahnprofil des zu erlangenden Zahns **81X** direkt und fein gestaltet werden. Daher wird es möglich, den Zahn **81** gemäß der Ausführung weiter zu verbessern. Zum Beispiel ist es möglich, die Radzahltiefe, den Krümmungsradius am Zahnboden und die Zahndicke fein zu verändern.

[0100] Beim Herstellen des Zahns **81** des Rads **80** gemäß der Ausführung, die in der oben beschriebenen **Fig. 26** dargestellt ist, kann man einen Begradigungsgrad δ des Zahns **81** des Fräasers **90**, der minimal erforderlich ist, um die Zahnwurzel **221b** nicht zu unterschneiden (keinen Unterschnitt zu verursachen), oder einen minimalen Begradigungsbetrag δ wie folgt erhalten (siehe **Fig. 38**). Das heißt, wenn man dies in Bezug auf **Fig. 38** beschreibt, kann der minimale Begradigungsbetrag δ des Zahns **81** des Fräasers **90** mit der folgenden Formel (8) erhalten werden. Jedoch beruht übrigens das Zahnprofil des Rads **80** auf einem involuten Profil Tim. Das Rad **80** dreht sich in einer Drehbewegungsrichtung R_r (in der Zeichnung im Uhrzeigersinn R_r). Der Zahn **91** des Fräasers **90** bewegt sich parallel relativ zur Teilungslinie Lhp (Bewegungsrichtung D_s). Das Zahnprofil des Zahns **81** des Fräasers **90** ist mit einer Linie Hc bezeichnet. Ein Schnittpunkt einer involuten Wirklinie Lia des Zahns **81** des Rads **80** mit dem involuten Profil Tim des Zahns **81** ist ein Schnittpunkt Ps. Ein Punkt, wo der Unterschnitt des Zahns **81** des Rads **80** durch den Fräser **90** beginnt, oder ein Unterschnidungspunkt, ist mit Pr bezeichnet.

[0101] Ein Schnittpunkt der involuten Wirklinie Lia des Zahns **81** des Rads **80** und der Teilungslinie Lhp des Zahns **90** des Fräasers **90** ist mit Px bezeichnet. Eine gerade Linie von der Mitte CL des Rads **80** zum Schnittpunkt Px ist mit einer Standardlinie Lt bezeichnet. Der Schnittpunkt einer Zahnoberfläche Th1 des Fräasers **90** des Zahns **91**, der nur für den minimalen Begradigungsbetrag δ begradigt ist, und des Grundkreises **111** des Zahns **81** des Rads **80** ist mit Py bezeichnet. Eine gerade Linie, die durch die Mitte des Rads **80** und den Schnittpunkt Py hindurchgeht, ist mit einer begradigten Standardlinie Lp bezeichnet. Ein Neigungswinkel (Begradigungswinkel) der Begradigungsstandardlinie Lt relativ zur Standardlinie Lp ist mit θ bezeichnet. Der Begradigungswinkel ist größer als ein Druckwinkel α des Zahns **81** des Rads **80** (Zahn **91** des Fräasers **90**) als Bedingung ($\theta > \alpha$).

m:	Modul des Rads 80
Z:	Zähnezahl des Rads 80
Rb:	Radius des Grundkreises 111 des Rads 80
Rp:	Radius des Teilkreises 112 des Rads 80
$R_p - R_b - \cos\theta$:	Höhe von der Teilungslinie Lhp des Zahns 91 des Fräasers 90 zum Schnittpunkt Py ($\theta > \alpha$).

[Mathematische Formel 3]

$$\delta = R_b \{(\sin\alpha - \sin\theta) - \tan\alpha(\cos\alpha - \cos\theta)\} + \pi m \frac{(\theta - \alpha)Z}{2\pi} \quad (8)$$

[0102] Auf diese Weise ist in dieser Ausführung eine Fläche, in der das Zahnprofil durch den Fräser **90** begradigt wird, der ein involutes Profil schneidet, eine Zahnoberfläche in einem Bereich, wo eine Höhe von der Teilungslinie Lhp des Fräasers **90** in Richtung der Zahnspitze, oder eine Höhe von der Teilungslinie Lhp des Zahns **91** zum Schnittpunkt Py des Fräasers **90**, $R_p - R_b - \cos\theta$ oder mehr ist. Dann wird der Zahn **91** in abnehmender Richtung einer Zahndicke um den minimalen Begradigungsgrad δ oder mehr an dem Schnittpunkt Py begradigt, wo die Höhe von der Teilungslinie Lhp $R_p - R_b - \cos\theta$ ist.

[0103] Die Zahnoberfläche des Zahns **91**, die um den minimalen Begradigungsbetrag δ begradigt ist, ist mit der Kurve Th1 angegeben. In diesem Fall ist die involute Wirklinie Lia des Zahns **81** des Rads **80** zu einer Wirklinie L1 am Grundkreis **111** verlängert. Ferner ist eine Zahnoberfläche in einem Fall, wo der Begradigungsbetrag des Zahns **91** größer als der minimale Begradigungsgrad δ ist, mit einer Kurve Th2 angegeben. In diesem

Fall ist die involute Wirklinie Lia des Zahns **81** des Rads **80** zu einer Wirklinie L2 verlängert, die sich innerhalb des Grundkreises **111** befindet. Auf diese Weise ist es möglich, die Biegefestigkeit des Zahns **81** des Rads **80** zu verbessern.

[0104] Nachfolgend wird eine Theorie offenbart, auf der die vorliegende Erfindung beruht. Übrigens ist ein Bauelement, das mit jenem in der oben beschriebenen Ausführung gemeinsam ist, mit der gleichen Bezugszahl bezeichnet, und eine Beschreibung davon wird weggelassen.

[0105] Ein Hauptproblem in einer konventionellen Untersuchung war eine Untersuchung des Zahnprofils einer optimalen Schnecke, um aktiv eine elastische Verformung eines Schneckenrads zu verursachen. Dementsprechend gab es noch Raum für Verbesserung eines Zahnprofils des Schneckenrads.

[0106] In einem herkömmlichen Konstruktionsverfahren werden, um das Schneckenrad hochfest zu machen, ein Modul und ein Verdrehwinkel vergrößert, um ein Kontaktverhältnis geometrisch zu verbessern. Mittels dieses Verfahrens ist es notwendig geworden, einen Durchmesser des Schneckenrads einfach zu vergrößern.

[0107] Um dieses Problem zu überwinden, haben die vorliegenden Erfinder versucht, ein klein bemessenes Schneckenrad hochfest zu machen. In der vorliegenden Erfindung haben die vorliegenden Erfinder ferner versucht, das Schneckenrad zu verkleinern, und sich neuerlich auf ein Fußprofil des Schneckenrads konzentriert. Im Ergebnis haben sie eine Idee erreicht, das Kontaktverhältnis durch effizienten Eingriff der Schnecke auch unterhalb eines Grundkreises des Schneckenrads zu verbessern. Um dies zu verwirklichen wurde zunächst einer geometrischen Form auch unter dem Grundkreis Beachtung gegeben, der im aktuellen Prozess gebildet wird. Basierend auf dieser Überlegung wird eine Theorie des effizienten Eingriffs auch unterhalb des Grundkreises als die MUB(Meshing Under Base Circle)-Theorie bezeichnet. Hierin wird die MUB-Theorie vorgeschlagen.

[0108] Das Zahnprofil des Zahns **221** des in **Fig. 5(a)** dargestellten herkömmlichen Schneckenrads **220** ist ein involutes Profil. Auf einer Zahnoberfläche des Zahns **221** ist ein unterschnittenes Teil U ausgebildet, das durch den herkömmlichen Fräser **230** unterschnitten worden ist.

[0109] Das Zahnprofil des Zahns **81** des Schneckenrads **80** gemäß der in **Fig. 5(b)** dargestellten Ausführung ist ein neues Profil, das mit der MUB-Theorie geformt wird. Basierend auf der MUB-Theorie wird aktuell das Schneckenrad **80** (nachfolgend als das Rad **80**) bezeichnet, hergestellt, und ein Effekt der MUB-Theorie ist durch Ausmessen der Kontaktweglänge verifiziert worden. Die im Verlauf dieser Studie erhaltende Kenntnis wird hierin erläutert.

Vorschlag der MUB-Theorie, bei der die Schnecke auch unterhalb des Grundkreises des Rads **80** in Eingriff steht.

[0110] In **Fig. 6** ist ein Schneckengetriebemechanismus dargestellt, in dem die herkömmliche Schnecke mit einem Rad in Eingriff steht (Kontaktlinie des Schneckenzahnspezeneckradius, Kontaktlinie des involuten Schneckenrads). Herkömmlich ist das Kontaktverhältnis verbessert worden durch Vergrößern der Abmessung des Rads **220** und durch Verlängerung der Eingriffslinie **321** in Richtung der Zahnspitze **221a**. In der vorliegenden Ausführung haben, umgekehrt gedacht, die vorliegenden Erfinder daran gedacht, dass dann, wenn die Eingriffslinie **321** in Richtung der Zahnwurzel zu **221b** verlängert werden kann, es möglich wird, das Kontaktverhältnis zu verbessern, ohne die Abmessung zu vergrößern. Um dies zu realisieren, sind Untersuchungen nach einem neuen Zahnprofil gemacht worden, das auch unterhalb des Grundkreises **301** günstig in Eingriff steht.

[0111] Damit der Zahn **221** mit einem involuten Profil auch unterhalb des Grundkreises **301** kämmt, ist es erforderlich, das Rad **220** mit dem Fräser (Bezugszahl **230** in **Fig. 5**) zu unterschneiden, und es mit der Schnecke ohne Bodenspiel (siehe **Fig. 16**) in Eingriff zu bringen. Jedoch kontaktiert, durch den einfachen Eingriff in diesem Verfahren, die Zahnspitze **221a** der Schnecke **210** nur das Rad **220**, wodurch es nicht möglich wird, einen effektiven Eingriff zu erhalten.

Analyse eines herkömmlichen Fußprofils, das nicht in der Lage ist, unter den Grundkreis zu greifen.

[0112] Eine Ortskurve des Frässhneiders ist in **Fig. 7** dargestellt. Wie in **Fig. 7** dargestellt, wird das mit dem herkömmlichen involuten Fräser **230** gebildete Fußprofil formuliert und analysiert. Durch Analyse wird nach einem idealen Zahnprofil gesucht, das effektiv unter den Grundkreis **301** greift. Wenn der Zahn **221** des Rads **220** an einem absoluten Koordinatensystem fixiert und die Verzahnung geschnitten wird, wälzt sich die Profilbezugslinie **312** des Fräsers **230** auf einem Verzahnungsschneid-Teilkreis des Rads **220** ab, ohne zu

gleiten. Eine Mitte **231Ce** des Zahns (Rands) **231** des Fräasers **230** bildet eine epitrochoide Kurve **311**. Eine Hüllfläche, die gebildet wird, wenn sich der Fräser **203** entlang der epitrochoiden Kurve **311** bewegt, bildet das Zahnprofil des Zahns **221** des Rads **220**. Insbesondere wird die Form der Zahnwurzel **221b** unter dem Grundkreis **301** durch die Zahnspitze **231a** des Fräasers **230** gebildet.

[0113] In der Zeichnung ist ein Arbeitspunkt (Frässhneidarbeitspunkt) des Fräasers **230** mit WP bezeichnet. Eine Bezugszahl **307** bezeichnet einen involuten Profilabschnitt des Rads **220**. Eine Bezugszahl **308** bezeichnet einen Fußabschnitt (den durch den Eckradius gebildeten Fuß) des Rads **220**.

[0114] In Fig. 8 ist die Hüllfläche des Fräserzahns (Hüllfläche der Fräserzahnspitze) dargestellt. Wie in Fig. 8 dargestellt, ist eine Modellbildung zum Formulieren eines Fußprofils durchgeführt worden. Zuerst erhält man die Linie **313**, die durch eine Zahnspitzenbogenmitte T des Fräasers **230** gebildet wird. Dann erhält man die Hüllfläche **314**, wenn sich ein Kreis mit einem Radius r_h auf der Linie **313** bewegt.

[0115] Wenn die Profilbezugslinie **312** des Fräasers **230** einen Phasenpunkt B1 von θ auf dem Teilkreis **302** des Rads **220** kontaktiert, ist ein Liniensegment A1B1 ein abgewickelter Bogen A0B1, und da beide Längen gleich sind, können die Koordinaten (X, Y) der Zahnspitzenbogenmitte T des Fräasers **230**, unter Verwendung von θ als Variable, gemäß den Formeln (1) und (2) ausgedrückt werden.

[Mathematische Formel 4]

$$\begin{aligned} X &= (R_p + h)\sin\theta - R_p\theta\cos\theta & (1) \\ Y &= (R_p + h)\cos\theta + R_p\theta\sin\theta & (2) \end{aligned}$$

[0116] Als nächstes erhält man die Hüllfläche **314** der Zahnspitzenbogenmitte. Ein Punkt E auf der Hüllfläche **314** ist eine normale Linie **315** der Linie **313** (trochoide Kurve), die durch einen Punkt T hindurchgeht. Da ein Abstand TE einem Fräserzahnspitzenradius r_h entspricht, kann er gemäß den Formeln (3) bis (5) ausgedrückt werden.

[Mathematische Formel 5]

$$\begin{aligned} \frac{dX}{d\theta} &= h\cos\theta + R_p\theta\sin\theta & (3) \\ \frac{dY}{d\theta} &= -h\sin\theta + R_p\theta\cos\theta & (4) \end{aligned}$$

$$\sqrt{\left(\frac{dX}{d\theta}\right)^2 + \left(\frac{dY}{d\theta}\right)^2} = \sqrt{h^2 + R_p^2\theta^2} \quad \dots (5)$$

[0117] Dementsprechend kann der Punkt E (X', Y') auf der Hüllfläche gemäß den Formeln (6) und (7) ausgedrückt werden.

[Mathematische Formel 6]

$$\begin{aligned} X' &= X + \frac{r_h}{\sqrt{h^2 + R_p^2\theta^2}} \left(\frac{dY}{d\theta}\right) \\ &= (R_p + h)\sin\theta - R_p\theta\cos\theta - \frac{r_h}{\sqrt{h^2 + R_p^2\theta^2}} (h\sin\theta - R_p\theta\cos\theta) \quad \dots (6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y' &= Y + \frac{r_h}{\sqrt{h^2 + R_p^2\theta^2}} \left(-\frac{dX}{d\theta}\right) \\ &= (R_p + h)\cos\theta + R_p\theta\sin\theta - \frac{r_h}{\sqrt{h^2 + R_p^2\theta^2}} (h\cos\theta + R_p\theta\sin\theta) \quad \dots (7) \end{aligned}$$

[0118] Unter Verwendung der obigen Formeln (6) und (7) ist, in den Fig. 9(a) bis Fig. 9(c), eine Trochoidkurve dargestellt, in einem Fall, wo der Zahnspitzenbogenmittelpunkt des Fräasers **230** verschoben ist. Die Trochoidkurve ändert sich mit einer Verschieberichtung basierend auf der Profilbezugslinie des Fräasers **230**. Eine negativ verschobene Trochoide in Fig. 9(a) ist eine einen Kreis bildende Kurve. Eine null-verschobene Trochoide

in **Fig. 9(b)** ist eine im Wesentlichen V-förmige Kurve, mit einem Eckabschnitt an einem Schnittpunkt mit dem Teilkreis **302**. Eine positiv verschobene Trochoide in **Fig. 9(c)** ist eine im Wesentlichen V-förmige Kurve, die sowohl eine vertiefte Form als auch eine leicht gekrümmte vorstehende Form hat.

[0119] Als nächstes wird eine durch die Linien **313** gebildete Hüllfläche betrachtet. In **Fig. 10** sind eine Hüllfläche durch die negativ verschobene Trochoide und eine Wirklinie eines Zahnrads, das die Hüllfläche als Zahnprofil verwendet, dargestellt (durch negativ verschobene Trochoide gebildeter Zahnringriff). In **Fig. 10** entspricht die horizontale Achse einer Zahndickenrichtung, und die vertikale Achse entspricht einer Zahnspitzenrichtung.

[0120] Eine Wirklinie **316** kann näher zur Mittelseite hin verlängert werden als der Grundkreis **301**. Jedoch reicht ein Druckwinkel vom Kontaktpunkt P5 75 Grad (siehe P6) und erhöht sich auf etwa 90 Grad. Dementsprechend blockiert sich die Schnecke selbst und wird undrehbar (siehe SL). Wenn andererseits ein Bodenspiel der Schnecke vorgesehen wird, um dies zu vermeiden, kontaktiert sie nicht geometrisch. In der Zeichnung bezeichnet PP einen Teilungspunkt. Der Teilungspunkt ist ein Punkt, durch den eine normale Linie einer Zahnoberfläche an einem Zahnungseingriffskontaktpunkt immer hindurchgeht. Eine Linie **317** ist ein Schneckenprofil (Schneckenprofil).

[0121] In **Fig. 11** ist eine Hüllfläche durch die null-verschobene Trochoide und eine Wirklinie davon dargestellt (durch null-verschobene Trochoide gebildeter Zahnringriff). In **Fig. 11** entspricht die horizontale Achse einer Zahndickenrichtung und die vertikale Achse entspricht einer Zahnspitzenrichtung.

[0122] Die Hüllfläche **314** unter dem Grundkreis **301** hat ein bogenförmiges Novikov-Zahnprofil. Dementsprechend wird ein Querkontaktverhältnis kleiner als 1, wodurch es nicht möglich wird, eine Isokinetik zu erfüllen, die eine mechanische Bedingung der Verzahnung ist. Um eine Drehung mit konstanter Geschwindigkeit zu übertragen, ist es erforderlich, ein Überschneidungsverhältnis um 1 oder mehr durch eine mehrreihigen Schnecke zu realisieren, wodurch die Abmessung des Rads zunimmt. In der Zeichnung bezeichnet MS eine gleichzeitige Eingriffsfläche (simultaner Eingriff).

[0123] In **Fig. 12** ist eine Hüllfläche durch eine positiv verschobene Trochoide und eine Wirklinie davon dargestellt (durch positiv verschobene Trochoide gebildeter Zahnringriff). In **Fig. 12** entspricht die horizontale Achse einer Zahndickenrichtung, und die vertikale Achse einer Zahnspitzenrichtung.

[0124] Die Wirklinie **316** kann näher zur Mittelseite hin verlängert werden als der Grundkreis **301**. Die normale Linie **315** der Hüllfläche **314** an einem Kontaktpunkt geht immer durch den Teilungspunkt PP hindurch, wodurch sie eine mechanische Bedingung der Verzahnung erfüllt, und ein effektiver Eingriff möglich ist.

[0125] In **Fig. 13** ist ein Fußprofil dargestellt. Wie in den **Fig. 12** und **Fig. 13** dargestellt, hat sich basierend auf der obigen Überlegung herausgestellt, dass das herkömmliche involute Profil nicht zum Eingriff unter dem Grundkreis **301** in der Lage ist, weil das Fußprofil durch die negativ verschobene Trochoide gebildet ist.

Vorschlag der MUB-Theorie

[0126] Wenn, basierend auf der oben beschriebenen Überlegung, das Zahnkopfprofil eines Rads durch die positiv verschobene Trochoide gebildet werden kann, ist es möglich, ein Zahnprofil zu erhalten, das auch unterhalb des Grundkreises wirkungsvoll kämmen kann. Um die positiv verschobene Trochoide zu erlangen, kann ein Fräsenzahnspitzen(Kopf)-Bogenradius vergrößert werden, und ein Mittelpunkt des Bogens kann in positiver Richtung der Profilbezugslinie des Fräasers verschoben werden.

[0127] In **Fig. 14** ist ein Rad mit einem Fußzahnprofil dargestellt, das durch die positiv verschobene Trochoide gebildet ist (MUB-Profil des Schneckenrads). Ein Eingriff einer Schnecke mittels des Zahnprofils ist in **Fig. 15** dargestellt. Er hat eine herkömmliche involute Eingriffslinie (zusätzliche Bezugszahl in der Zeichnung) an einer Seite der Radzahnspitze **81a**, und an seiner Kopfoberfläche ist es möglich, unterhalb des Grundkreises **111** entlang einer Wirklinie der positiv verschobenen Trochoide zu kämmen. Diese zwei Wirklinien (zusätzliche Bezugszahl in der Zeichnung) sind glattgängig verbunden, und die mechanischen Zahnungsbedingungen sind in allen Kontaktflächen erfüllt, wodurch bestätigt wird, dass diesem neuen Zahnprofil ein wirksamer Eingriff erhalten werden kann.

[0128] Wie in **Fig. 15** dargestellt, kann, mit dem neuen Zahnprofil, eine Länge des Vertiefungswegs an einer herkömmlichen Grenze LOA zu LO-Amold verlängert werden, wodurch angegeben wird, dass das Kontaktver-

hältnis von jenem des involuten Profils verbessert werden kann. Hier bezieht sich die Länge eines Vertiefungswegs auf eine Länge eines Kontaktwegs von einem Teilungspunkt zu etwa einer Zahnspitze einer Schnecke hin.

[0129] Diese Eingriffstheorie, mit der ein effizienter Eingriff auch unterhalb des Grundkreises **111** möglich ist, wird die Meshing-Under-Base-Circle(MUB)-Theorie genannt.

Eingriff unter Berücksichtigung der elastischen Verformung des Rads

[0130] Bislang ist das Rad als starrer Körper betrachtet worden. Basierend auf der Untersuchung wird insofern erwartet, dass die Länge des Kontaktwegs unter Berücksichtigung der elastischen Verformung des Rads noch weiter verlängert werden kann, wodurch daran gedacht wird, diese Wirkung zu untersuchen.

[0131] Im Hinblick auf die elastische Verformung des Rads, wie in **Fig. 15**, konzentriert sich eine Teillast auf einen Zahn **81A** mit geringer Eingriffstiefe. Daher wird herkömmlich eine Zahndicke einer Schneckenzahnsitzenfläche in eine negative Richtung modifiziert, um die konzentrierte Last auf einen anderen eingreifenden Zahn **81B** und **81C** zu verteilen.

[0132] Mittels des Zahns **81** ist es möglich, eine aktuelle Eingriffswirklinie, wenn ein Drehmoment angelegt wird, in Richtung des Teilkreises **112** des Rads zu bewegen. Der begradigte Schneckeneingriff mit dem Rad **80** basierend auf der MUB-Theorie ist in **Fig. 16** dargestellt, und da eine Neigung der Eingriffswirklinie **121** verringert werden kann, ist es möglich, die Kontaktweglänge, aus dem Resultat im vorherigen Kapitel, weiter zu verlängern (siehe L). Es ist möglich, das Kontaktverhältnis, das zuvor 2,2 war, auf 3,0 oder darüber zu legen, ohne die Abmessung des Rads zu vergrößern.

[0133] Als nächstes wird eine Eingriffskontaktfläche betrachtet. In **Fig. 17** findet sich ein Vergleich zwischen dem herkömmlichen involuten Profil und einem Zahnprofil basierend auf der MUB-Theorie. Die horizontale Achse ist ein Kontakthöhe des Rads (Kontakthöhe des Schneckenrads). Die vertikale Achse ist eine Kontakthöhe basierend auf der Teilungslinie (Kontakthöhe oberhalb Teilungslinie). Auf der Oberseite der Zeichnung geht eine Zahnkopfrichtung, und zur unteren Seite der Zeichnung eine Zahnfußrichtung. Eine Linie **341**, die mit schwarzen Rhomben aufgetragene Punkte verbindet, bezeichnet ein konventionelles Ergebnis. Eine Linie **342**, die mit weißen Kreisen aufgetragene Punkte verbindet, ist ein Ergebnis der MUB-Theorie. Eine Linie **343** ist eine Linie, die die Eingriffstiefe (Grundlinie) des Grundkreises angibt. Eine Fläche, die mit nach rechts unten schrägen Linien gezeichnet ist, ist eine Kontaktfläche beider herkömmlichen und MUB-Theorien. Eine mit nach unten links schrägen Linien angegebene Fläche ist eine Kontaktfläche nur der MUB-Theorie. Durch Anwendung eines Rads der MUB-Theorie ist es möglich, die Kontaktfläche ein einem weiteren Bereich zu erhalten.

[0134] Wie in **Fig. 18(a)** dargestellt, ist es mit dem involut profilierten Rad **220** aufgrund des Unterschnitts schwierig, die Eingriffsfläche unterhalb des Grundkreises **301** zu vergrößern. Da der Unterschnitt in dem Rad **80** basierend auf der MUB-Theorie nicht hervorgerufen wird, wie in **Fig. 18(b)** dargestellt, ist es möglich, die Eingriffsfläche unterhalb des Grundkreises **111** günstig zu vergrößern.

Verifikation des Eingriffstests durch die MUB-Theorie

[0135] Um die Eingriffsleistung der Schnecke zu verifizieren, die mit der vorgeschlagenen MUB-Theorie konstruiert ist, wird, nach Berechnung einer Eingriffsänderung gemäß einer Schneckenphase, die Schnecke **70** tatsächlich hergestellt und wird Zahnaufgabe während des Eingriffs verifiziert.

[0136] Wie in den **Fig. 19(a)** und **Fig. 19(b)** dargestellt, wird, als Verifizierungsverfahren, eine blaue Paste BP auf eine Zahnoberfläche der Schnecke **70** aufgetragen, die mit dem Rad in Eingriff steht. Dann wird ein Drehmoment auf die Schnecke **70** ausgeübt, und die Form einer Fläche, wo die blaue Paste BP abgelöst worden ist, wird gemessen.

[0137] In **Fig. 19(a)** ist die Schnecke **70** dargestellt, auf der die blaue Paste BP aufgetragen ist. In der Zeichnung bezeichnet S einen Punkt, wo der Kontakt mit dem Rad **80** beginnt (Eingriffsstartpunkt). Das Bezugszeichen E bezeichnet einen Punkt, wo der Kontakt mit dem Rad **80** endet (Eingriffsendpunkt). Das Bezugszeichen CAa bezeichnet einen Teil, wo die blaue Paste BP abgelöst worden ist, oder ein Teil, das das Rad **80** kontaktiert hat (Kontaktfläche der Schnecke).

[0138] In Fig. 19(b) ist das Rad **80** dargestellt, das mit der Schnecke **70** in Eingriff stand. In der Zeichnung ist CAb ein Teil, wo die blaue Paste BP aufgetragen wurde, oder ein Teil, das die Schnecke **70** kontaktiert hat (Kontaktfläche des Schneckenrads). Es hat sich herausgestellt, dass die Schnecke **70** näher zur Mittelseite des Grundkreises **111** hin kontaktiert hat.

[0139] Diese Verifizierungsergebnisse sind in Fig. 20 dargestellt. In Fig. 20 ist eine Kontaktfläche der Schnecke dargestellt. Die horizontale Achse repräsentiert einen Drehwinkel der Schnecke. Die vertikale Achse repräsentiert eine Kontakthöhe. Eine rhombusförmige Auftragung bezeichnet ein Messergebnis in einem Fall, wo das involut profilierte Rad verwendet wird (aktuelle Messung des involuten Zahnrads). Eine dreieckförmige Auftragung bezeichnet einen Berechnungswert in einem Fall, wo das Rad gemäß der Ausführung verwendet wird (berechneter Punkt). Eine Auftragung in runder Form bezeichnet ein Messergebnis in einem Fall, wo das Rad gemäß der Ausführung verwendet wird (aktuelle Messung). Die Außenseite der mit der Rhombusform aufgetragenen Punkten und innerhalb der mit der runden Form aufgetragenen Punkten, oder eine schraffierte Fläche, entspricht einer Fläche, in der die Eingriffsfläche durch das Rad gemäß der Ausführung vergrößert worden ist.

[0140] Basierend auf einer Phase der Schnecke, bei der der Eingriff geometrisch beginnt, wird eine Schneckendrehrichtung in einem Fall, wo der Eingriff von einem Fuß (Deden dum) zu einer Zahnspitzenrichtung hin fortschreitet, als positive Richtung gesetzt. Übrigens ist in der Verifizierung eine Drehwinkelgeschwindigkeit des Rads auf 1,0 Ups gesetzt, und ein Eingriffsdrehmoment der Schnecke ist auf 2,2 Nm gesetzt.

[0141] Da die Eingriffsfläche der Schneckenzahnoberfläche etwa 1080 Grad der Schneckendrehphase entspricht, wird verifiziert, dass das Kontaktverhältnis zu 3,0 wird. Das Kontaktverhältnis wird, im Vergleich zu 2,2 des herkömmlichen Zahnprofils, um 36% erhöht. Ferner hat sich bestätigt, dass die Eingriffsfläche des Rads innerhalb des Grundkreises vorteilhaft vergrößert wird.

[0142] Dies entspricht im Wesentlichen dem Ergebnis der theoretischen Betrachtung, wodurch der Effekt der MUB-Theorie verifiziert werden kann. Dementsprechend ist es nun möglich, den Eingriff eines Schneckengetriebemechanismus vorherzusagen, der basierend auf der MUB-Theorie konstruiert wird. Daher ist die MUB-Theorie ein effizientes Konstruktionsverfahren einer elektrischen Servolenkvorrichtung (EPS), worin die Anbringung eines klein bemessenen und hochfesten Getriebemechanismus erforderlich ist.

[0143] Um die Abmessung des Rads zu verkleinern, ist die MUB-Theorie vorgeschlagen worden, in der das Kontaktverhältnis durch effektiven Eingriff auch unterhalb des Grundkreises verbessert wird, und ein Effekt der Theorie ist durch einen Test verifiziert worden. Im Ergebnis hat sich das Folgende herausgestellt.

[0144] Es hat sich herausgestellt, dass das Fußprofil des Rads, gemäß einer Verschiebungsrichtung des Zahnspitzenbogenmittelpunkts des Fräasers in drei Typen kategorisiert werden kann. Das Zahnprofil, das durch die negativ verschobene Trochoide gebildet wird, blockiert sich selbst, wobei es sich herausgestellt hat, dass es innerhalb des Grundkreises nicht wirkungsvoll eingreifen kann. Das durch die null-verschobene Trochoide gebildete Zahnprofil hat ein Bogenzahnprofil und unterhalb des Grundkreises, wobei eine mehrreihige Schnecke erforderlich ist, um die Isokinetik eines Zahnrads zu erfüllen, und es hat sich herausgestellt, dass die Abmessung des Rads zunimmt. Durch die MUB-Theorie, in der ein Zahnfußprofil durch die positiv verschobene Trochoide gebildet wird, ist es möglich, eine Zunahme der Radabmessung zu vermeiden und einen effizienten Eingriff unterhalb des Grundkreises zu ermöglichen, mit dem der Eingriff mit dem involuten Profil nicht möglich gewesen ist. Es hat sich erwiesen, dass es durch Anwendung der MUB-Theorie möglich ist, ein hohes Kontaktverhältnis von 3,0 sogar mit einer einreihigen Schnecke zu erreichen, von der man allgemein annimmt, dass sie ein niedriges Kontaktverhältnis hat.

[0145] Die Beschreibungen sind basierend auf einem Beispiel zur Anbringung des Schneckengetriebemechanismus in einer elektrischen Servolenkvorrichtung angegeben worden; jedoch ist es auch möglich, den Schneckengetriebemechanismus in einer anderen Vorrichtung anzubringen, und sie ist nicht auf die elektrische Servolenkvorrichtung beschränkt.

Industrielle Anwendbarkeit

[0146] Der Schneckengetriebemechanismus gemäß der vorliegenden Erfindung ist insbesondere zur Verwendung an einer elektrischen Servolenkvorrichtung eines Fahrzeugs geeignet.

Bezugszeichenliste

44	Schneckengetriebemechanismus,
70	Schnecke,
71	Schnecken Zahn,
71c	Schneckenkopfoberfläche,
74	Schneckenteilungslinie,
80	Schneckenrad,
90	Fräser,
91	Fräserzahn,
91c	Fräserkopfoberfläche,
93	Fräserkopfoberflächenmitte,
94	Fräserteilungslinie,
WL	Schneckenmittellinie,
219	Schnecke mit involutem Profil,
220	Schneckenrad mit involutem Profil,
200	herkömmlicher Schneckengetriebemechanismus,
WL'	Fräsermittellinie,
L	Länge des Vertiefungswegs,
Llim	Länge des konventionellen Vertiefungswegs

Patentansprüche

1. Schneckengetriebemechanismus, der eine Schnecke und ein mit der Schnecke in Eingriff stehendes Schneckenrad aufweist, wobei
 zumindest eine Kopfoberfläche eines Zahns der Schnecke bogenförmig ausgebildet ist, und eine Mitte eines Bogenradius mit der Kopfoberfläche näher an einer Mittellinie der Schnecke als eine Teilungslinie der Schnecke angeordnet ist,
 das Schneckenrad mit einem beim Zahnschneiden des Schneckenrads benutzten Fräser Zahn-geschnitten ist, wobei zumindest eine Kopfoberfläche eines Zahns des Fräsers bogenförmig ausgebildet ist, und eine Mitte eines Bogenradius der Kopfoberfläche näher an einer Mittellinie des Fräsers als eine Teilungslinie des Fräsers angeordnet ist, und
 eine Länge des Vertiefungswegs des Schneckengetriebemechanismus, in dem die Schnecke mit dem Schneckenrad in Eingriff steht, größer eingestellt ist als eine Länge des Vertiefungswegs des Schneckengetriebemechanismus, der eine Schnecke mit involutem Profil und ein Schneckenrad mit involutem Profil hat.
2. Das Schneckengetriebemechanismus nach Anspruch 1, wobei zumindest ein Zahn des Schneckenrads einen aus Kunststoff geformten Gegenstand enthält.

Es folgen 25 Seiten Zeichnungen

FIG. 1

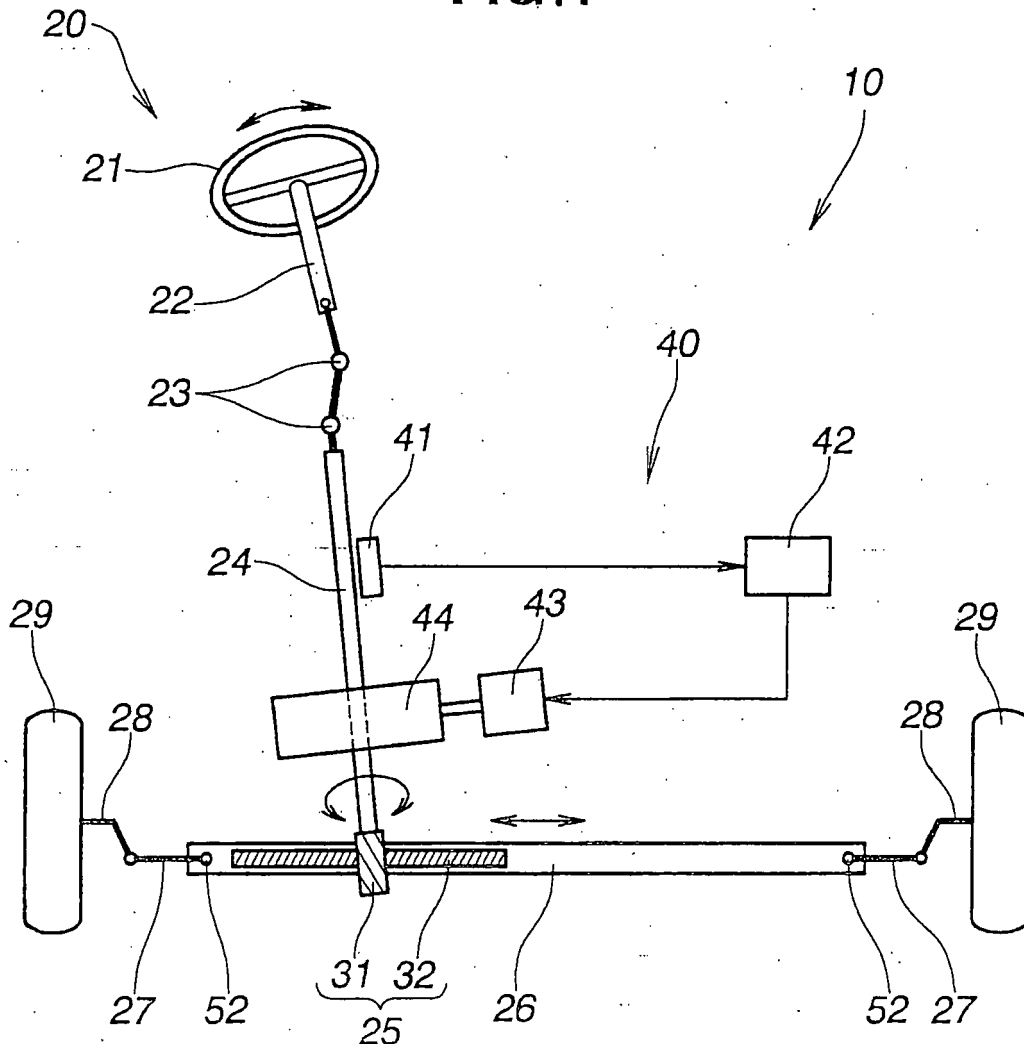


FIG.2

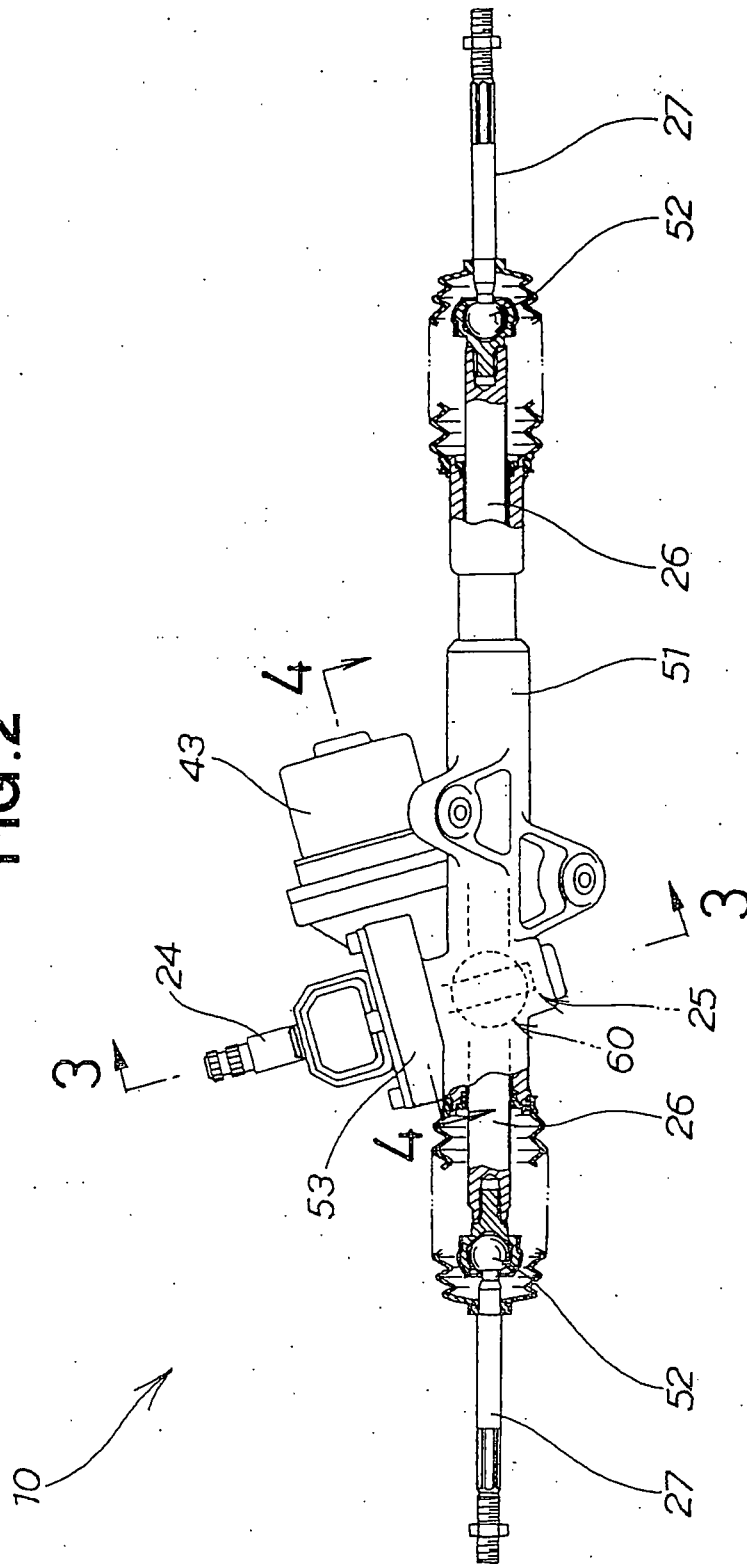


FIG. 3

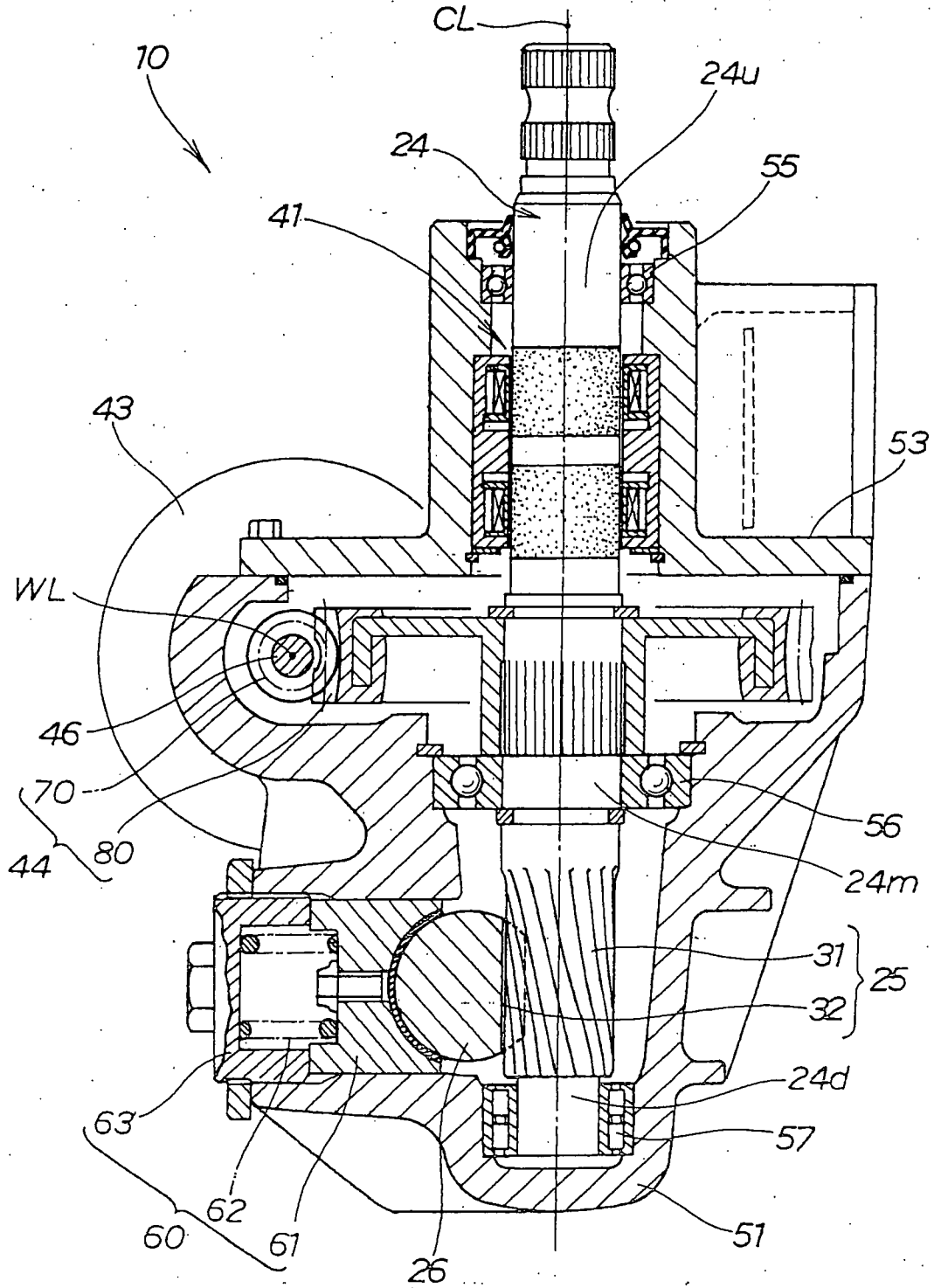
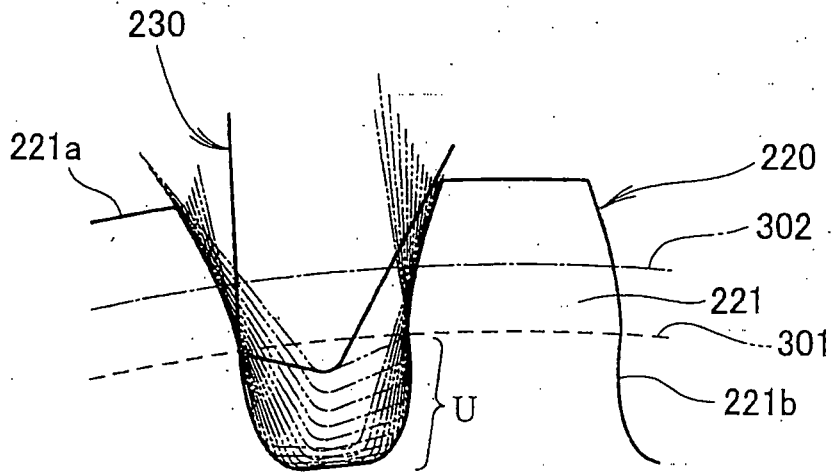
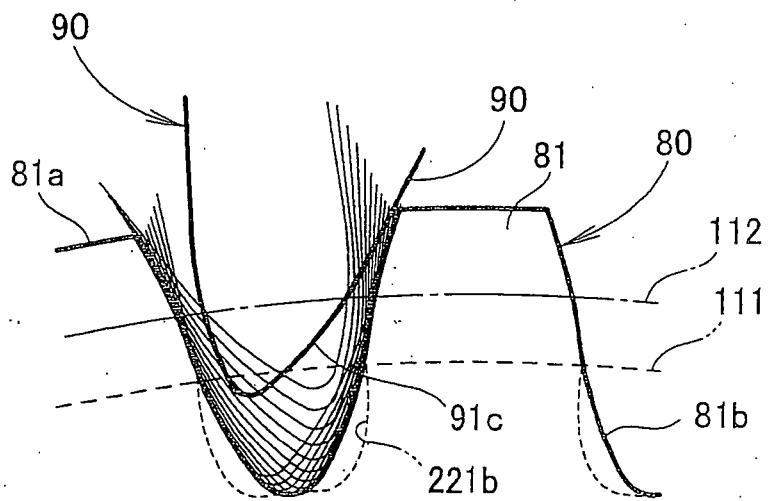


FIG. 5



(a) HERKÖMMLICHES BEISPIEL



(b) AUSFÜHRUNG

FIG. 6

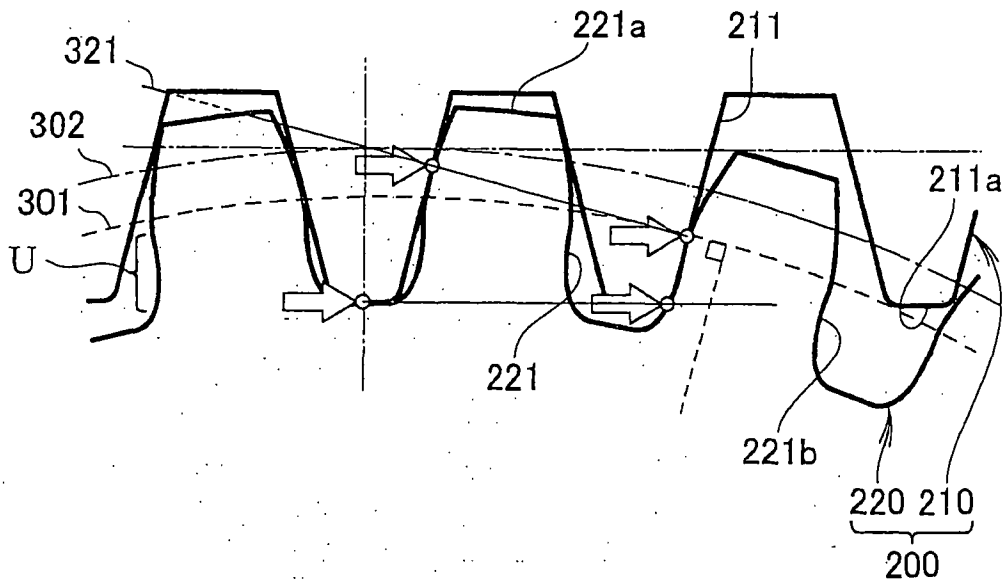


FIG. 7

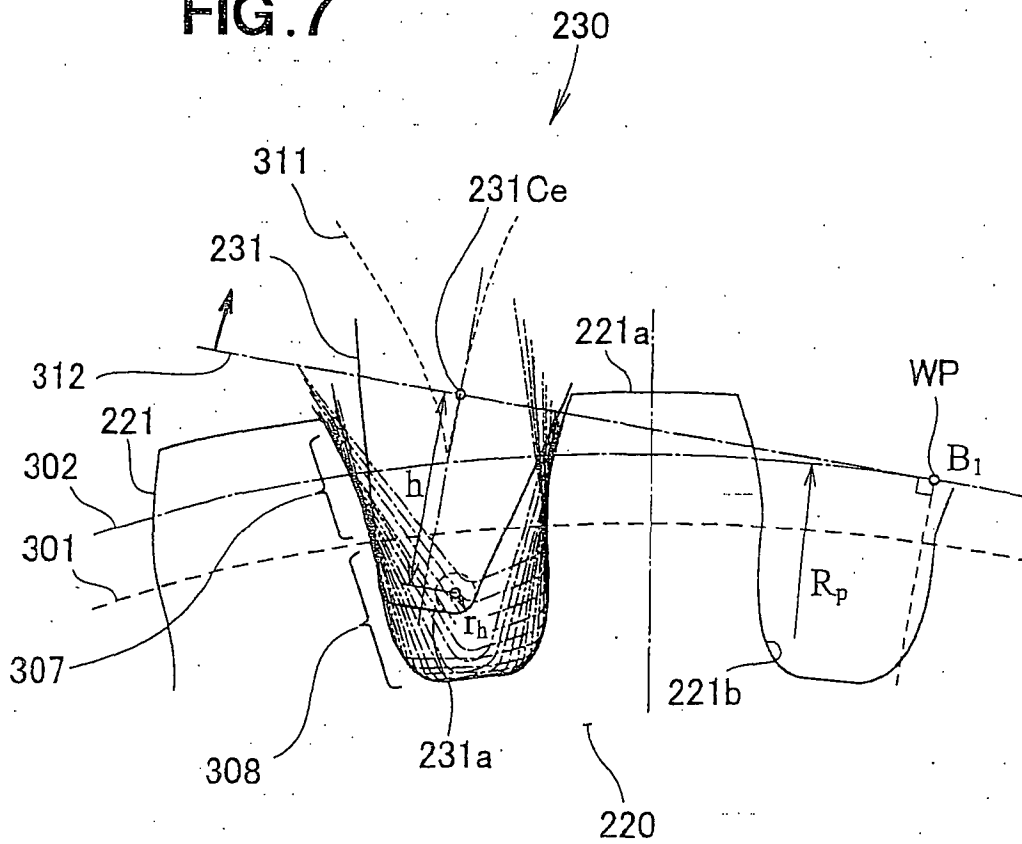


FIG. 8

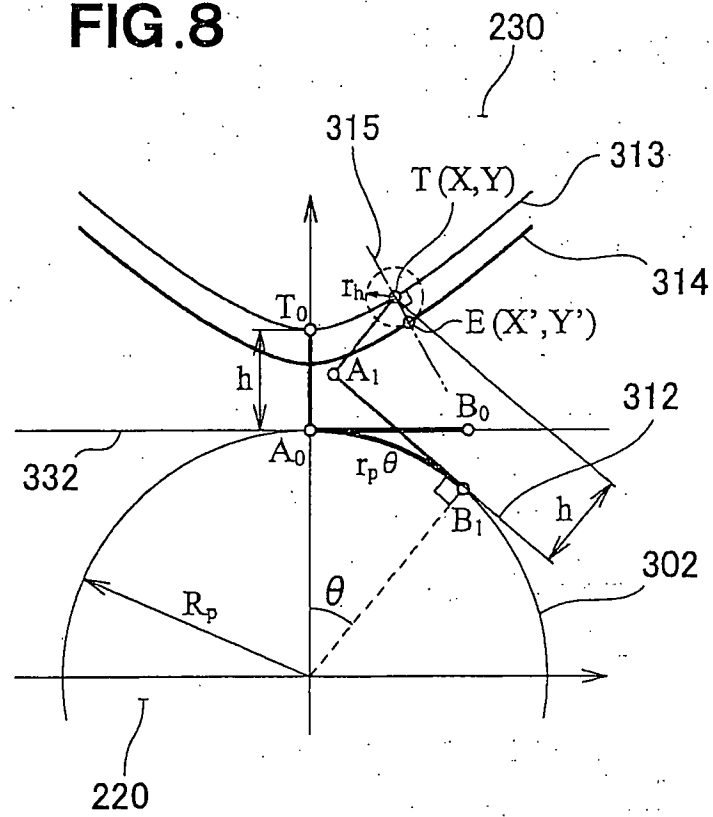
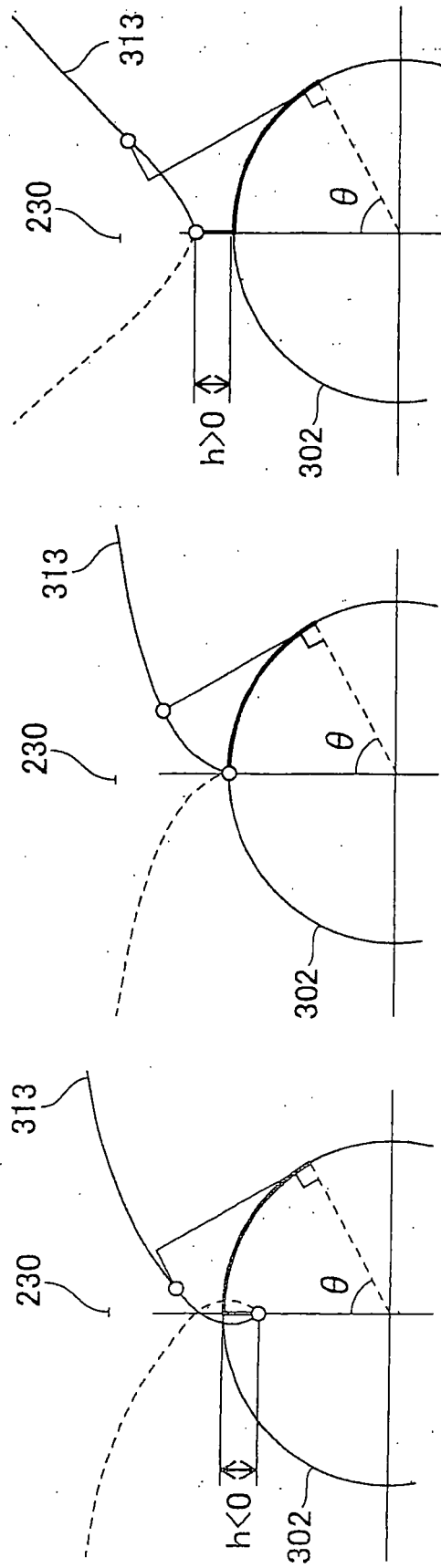


FIG. 9



(a) $h < 0$

(b) $h = 0$

(c) $h > 0$

FIG.10

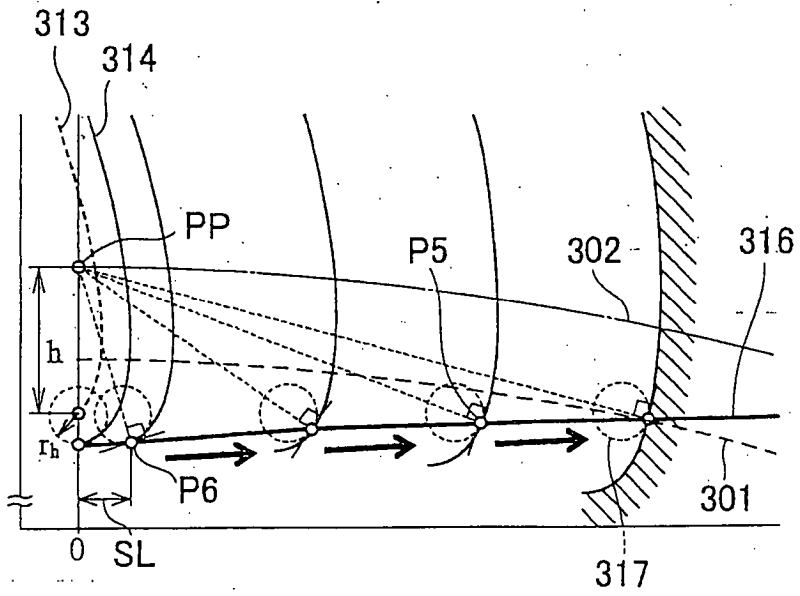


FIG.11

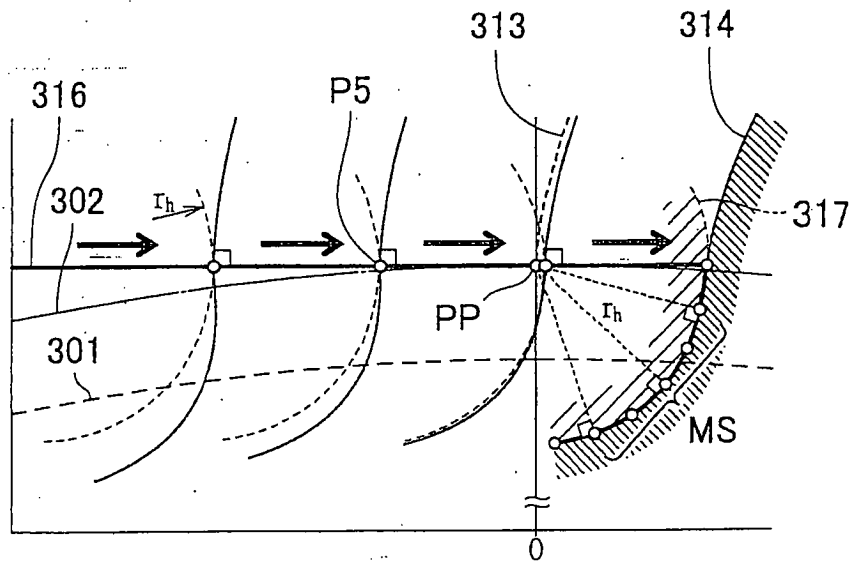


FIG.12

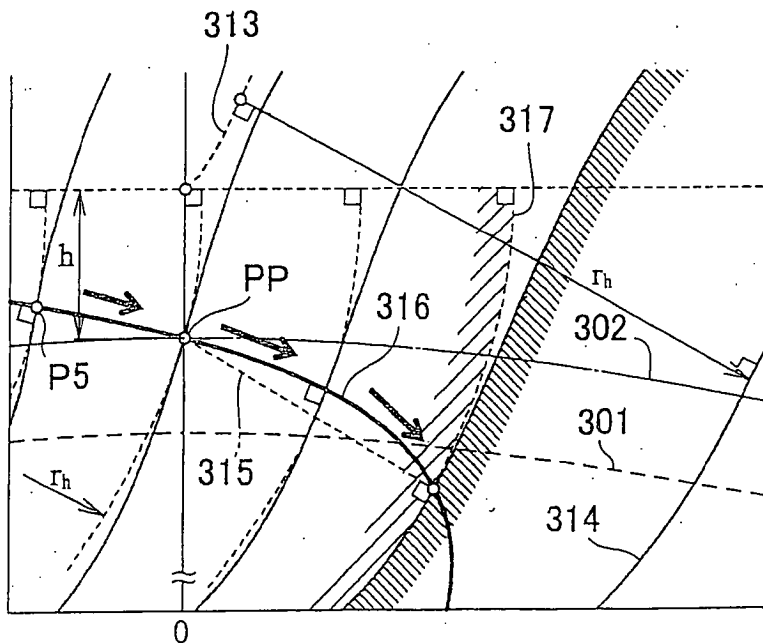


FIG.16

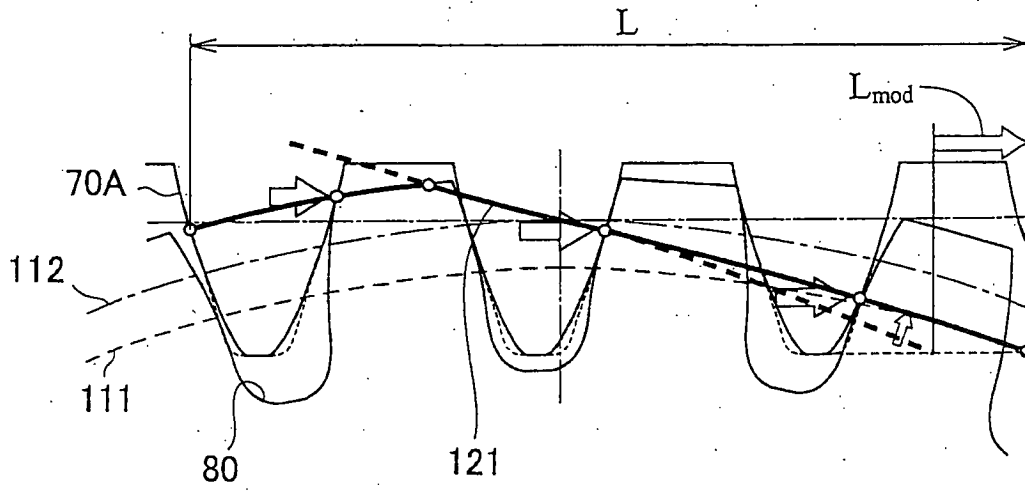


FIG.17

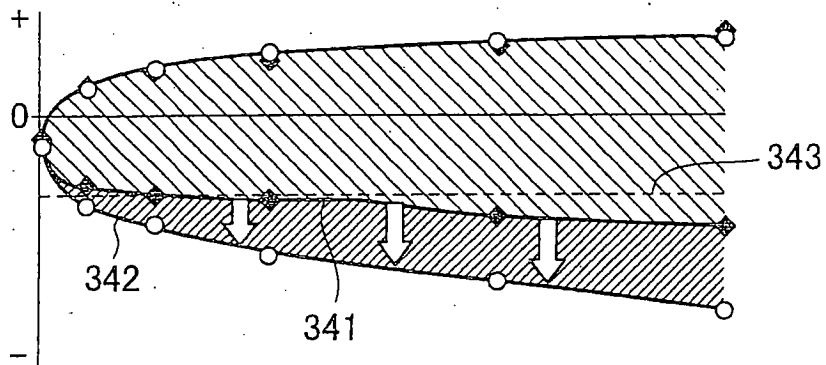
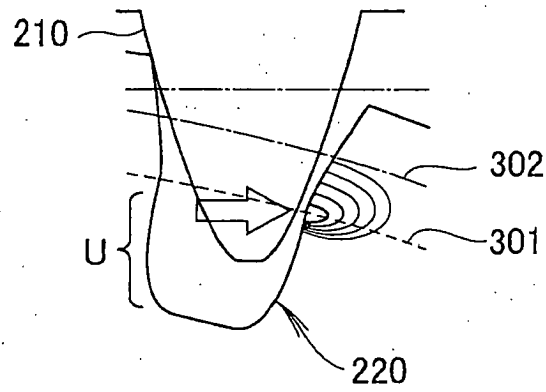
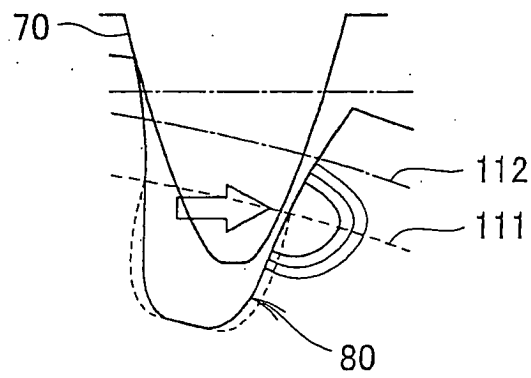


FIG.18



(a) VERGLEICHSBEISPIEL



(b) AUSFÜHRUNG

FIG.19

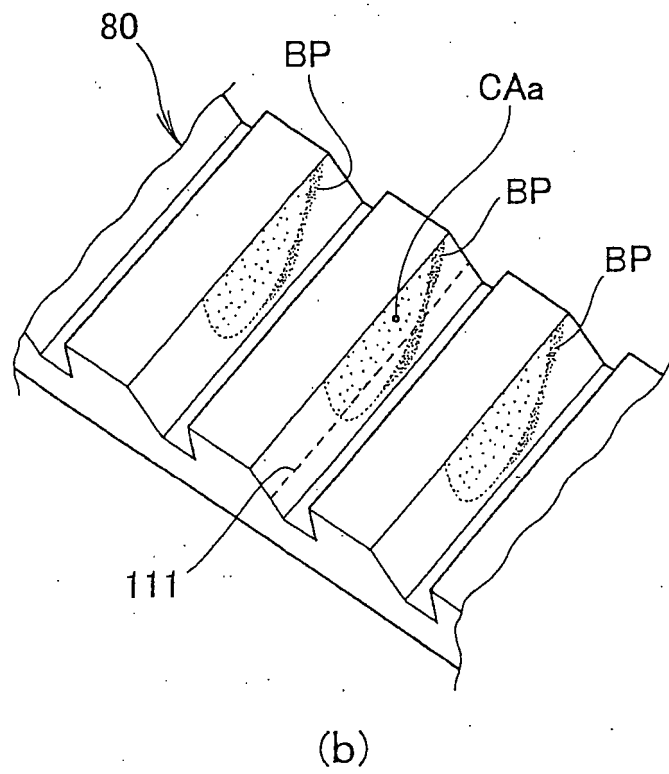
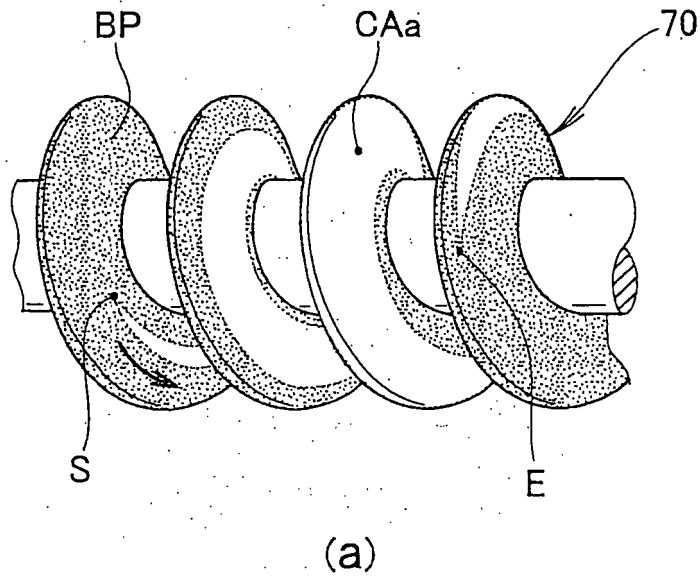


FIG.20

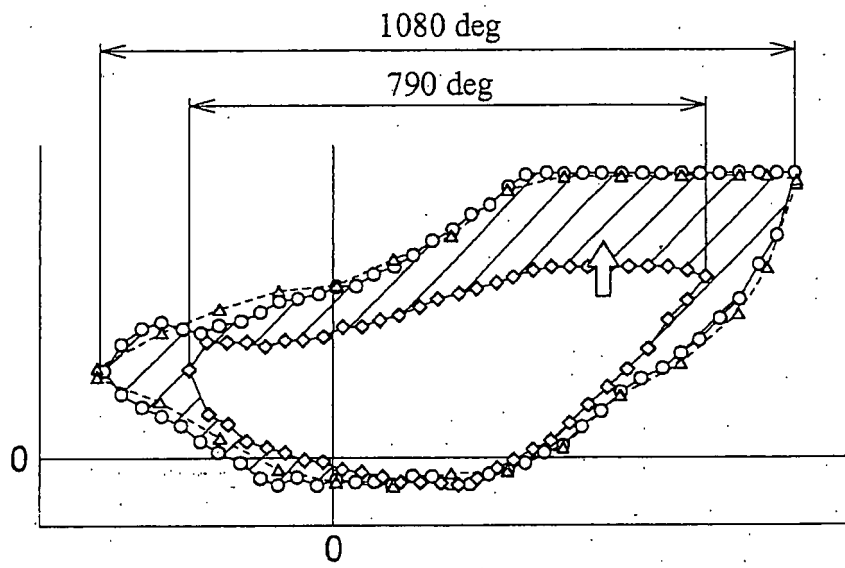


FIG. 21

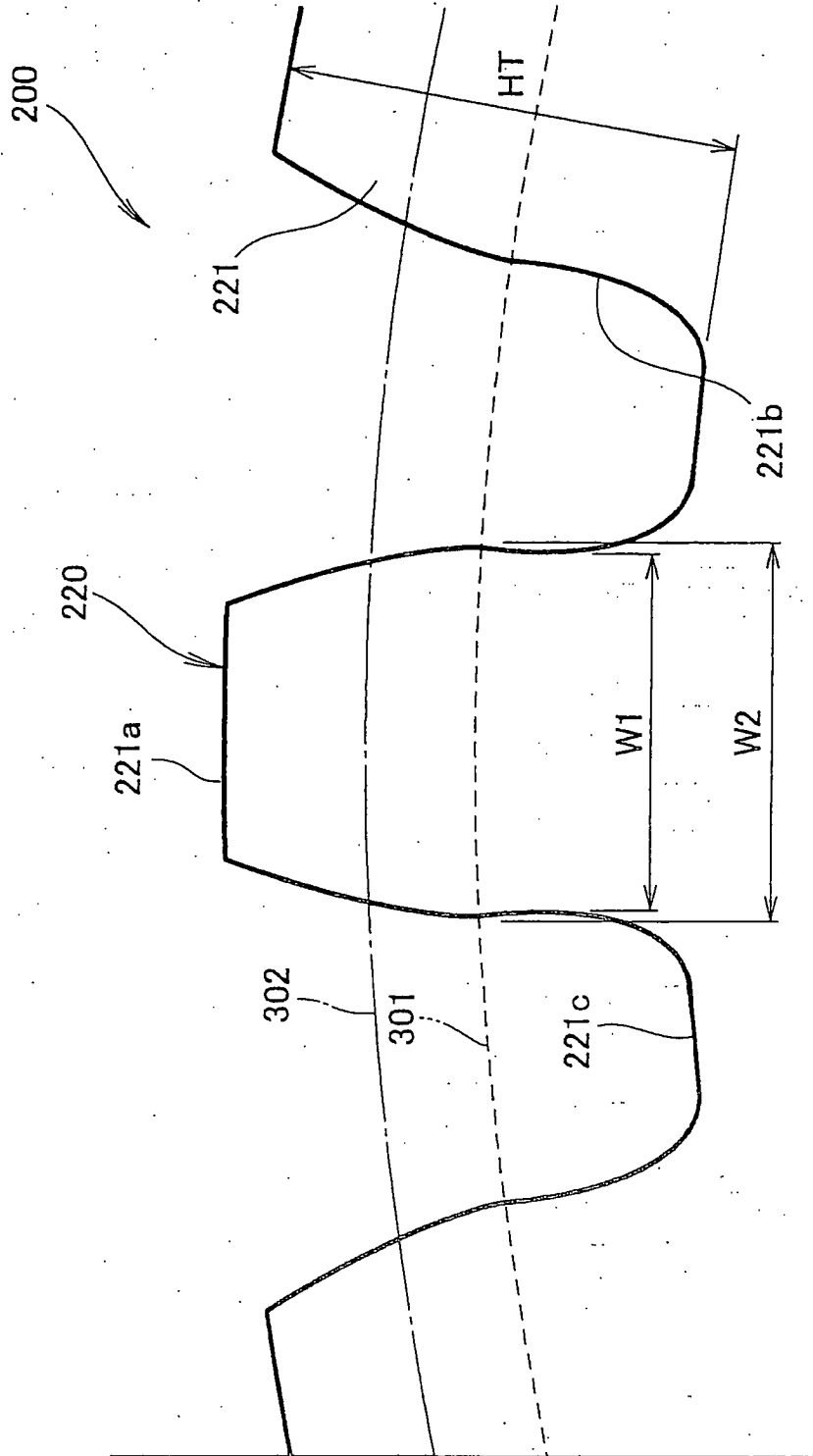


FIG. 22

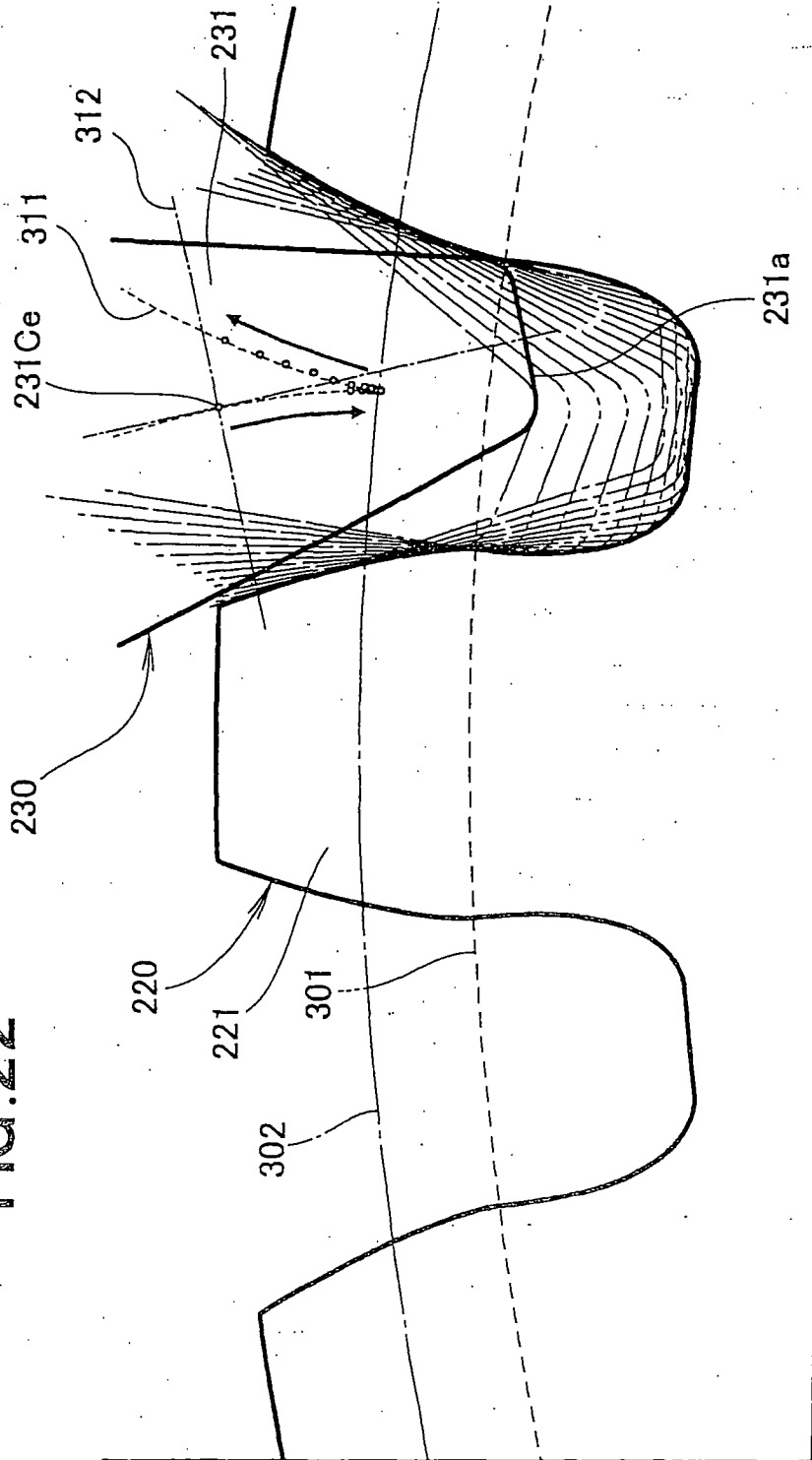


FIG. 23

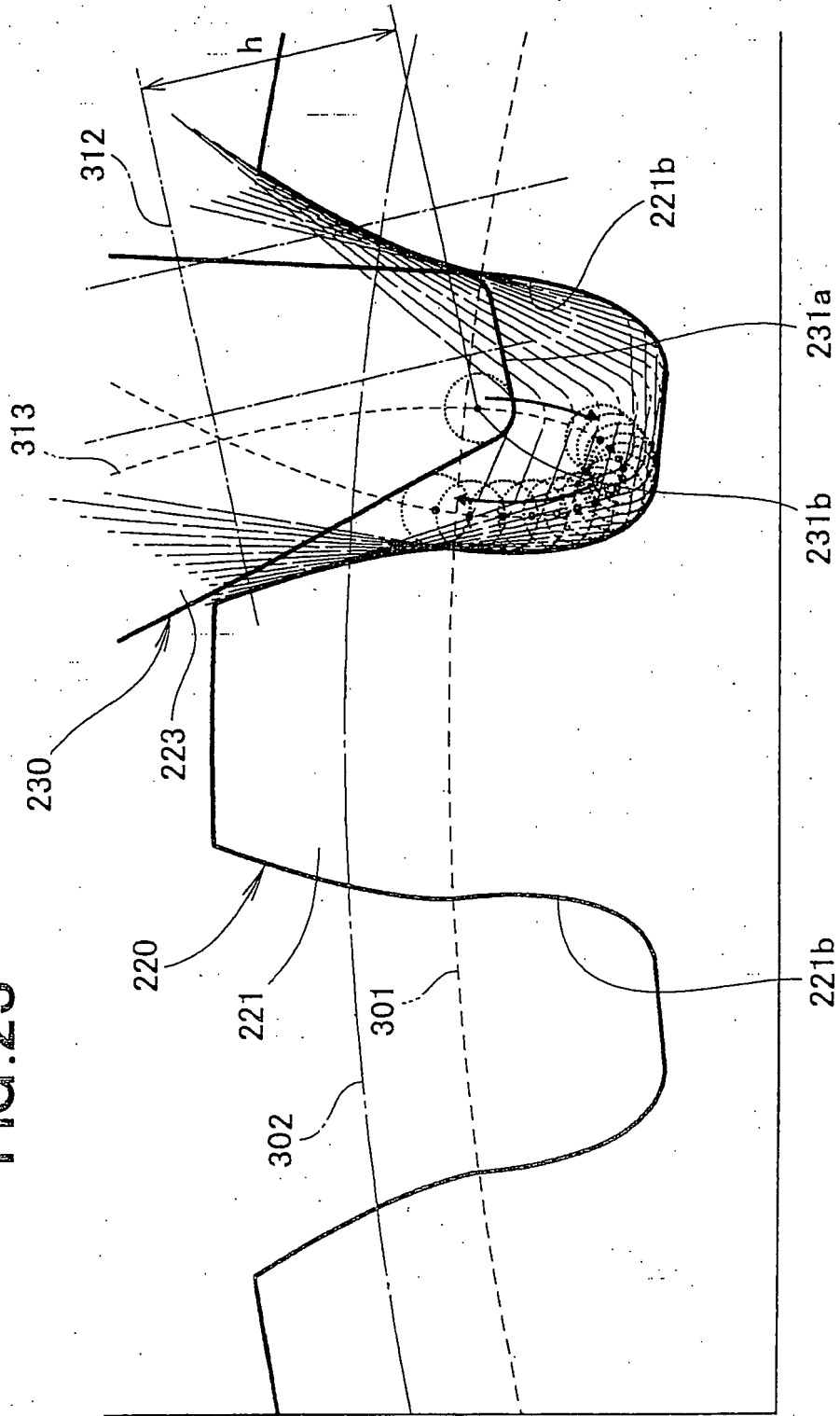


FIG. 24

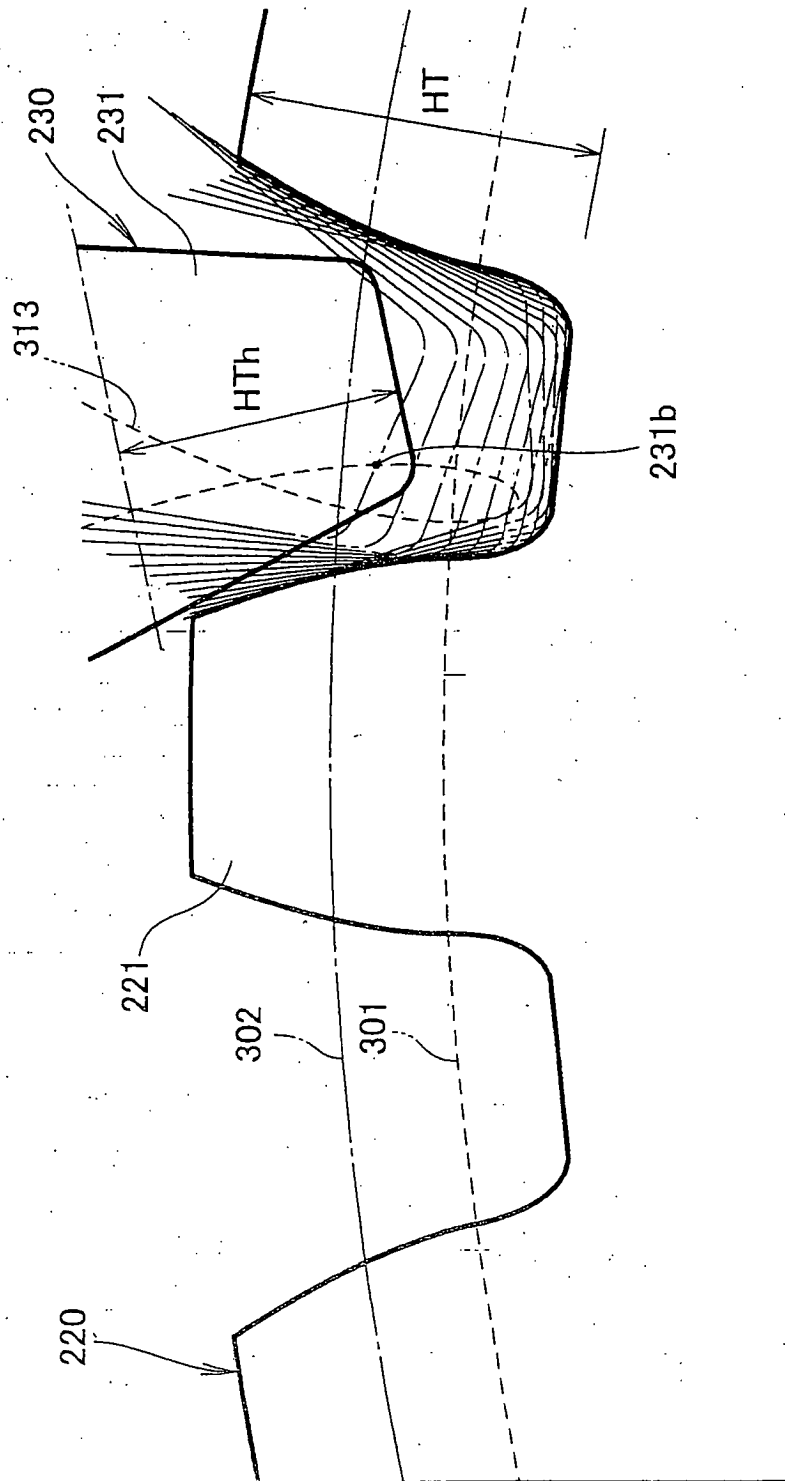
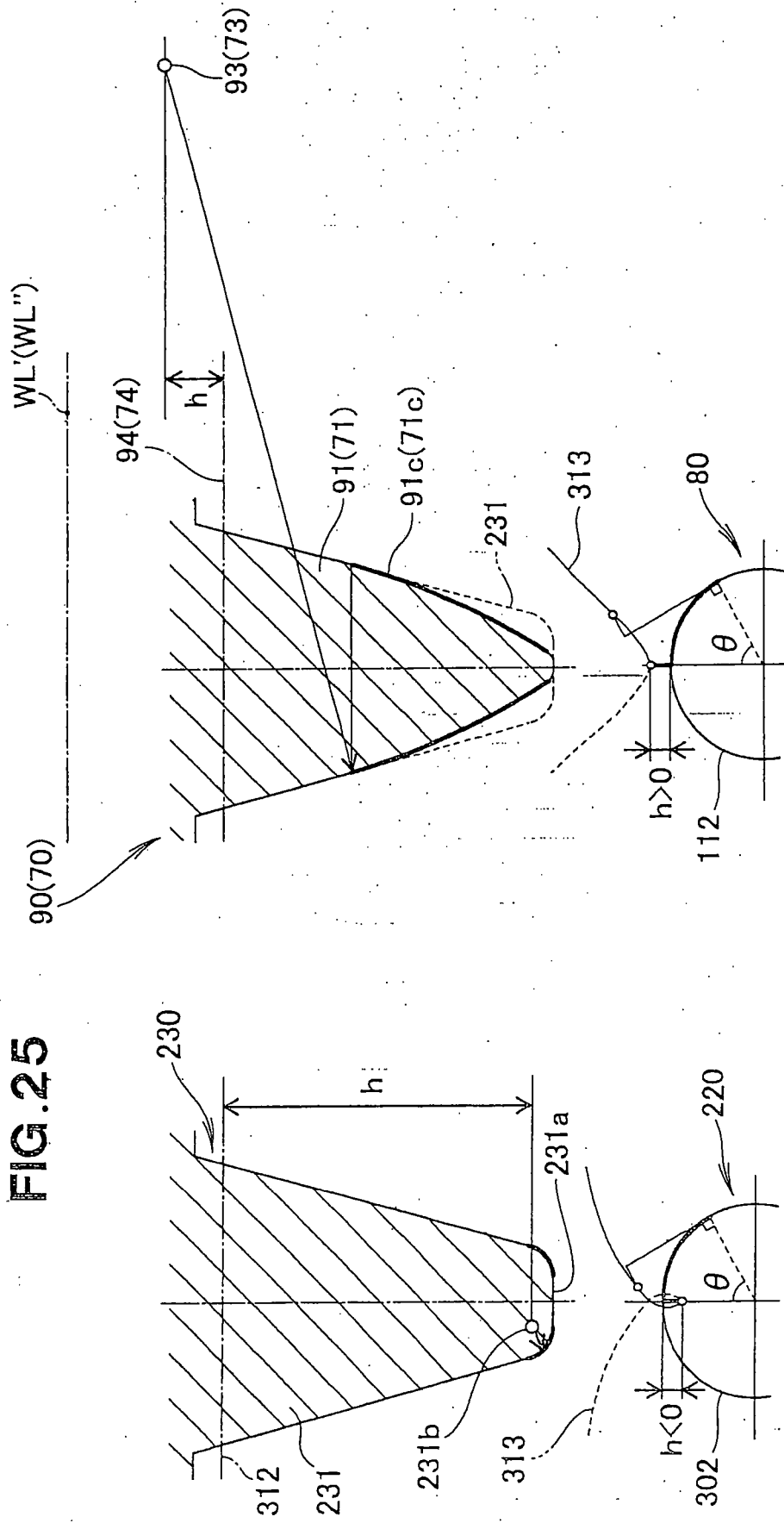


FIG. 25



(a) HERKÖMMLICHES BEISPIEL

(b) AUSFÜHRUNG

FIG.29

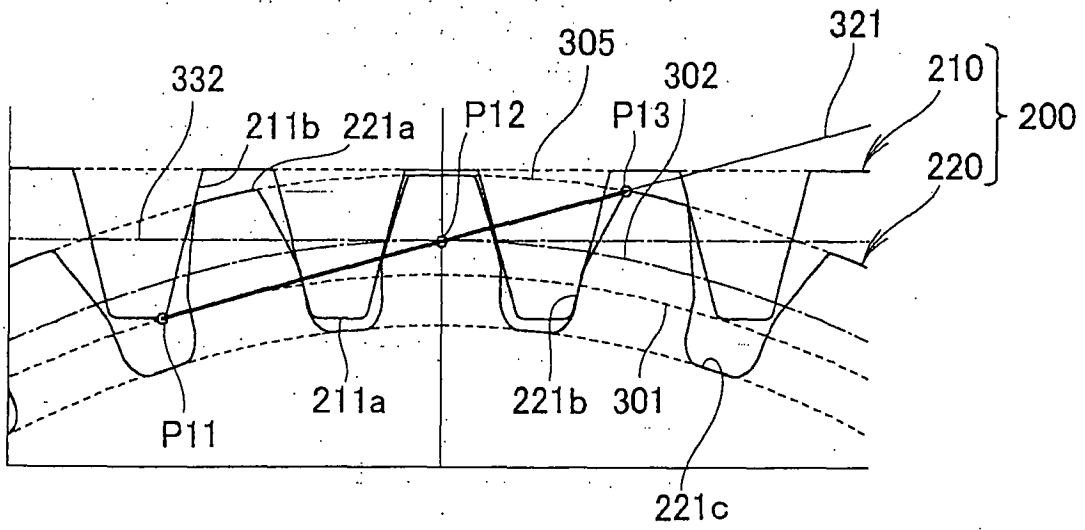


FIG.30

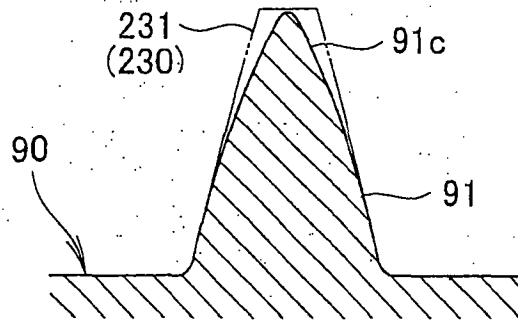


FIG.31

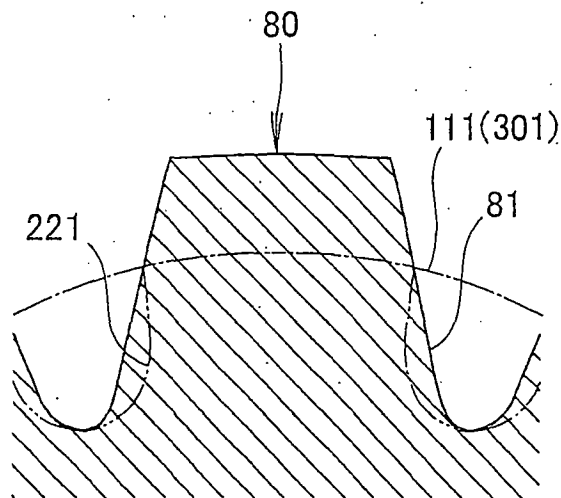


FIG. 32

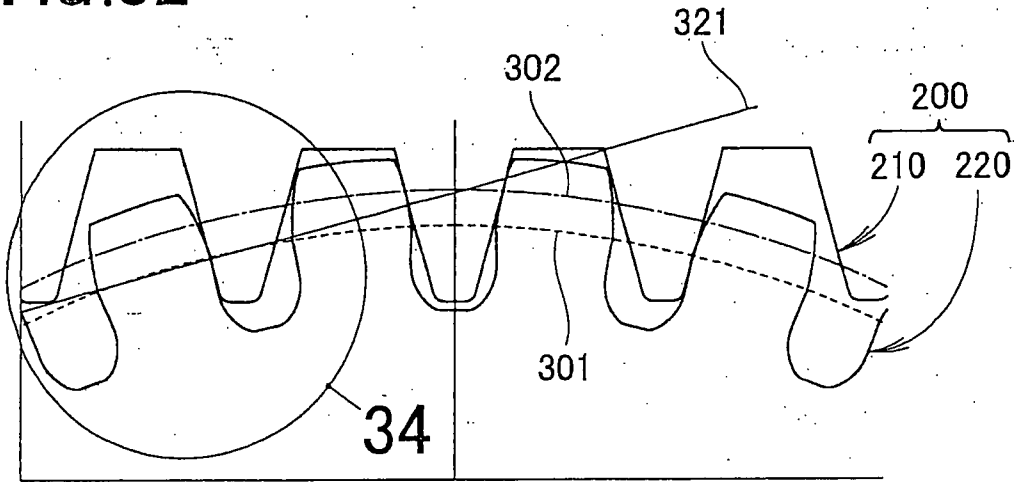


FIG. 33

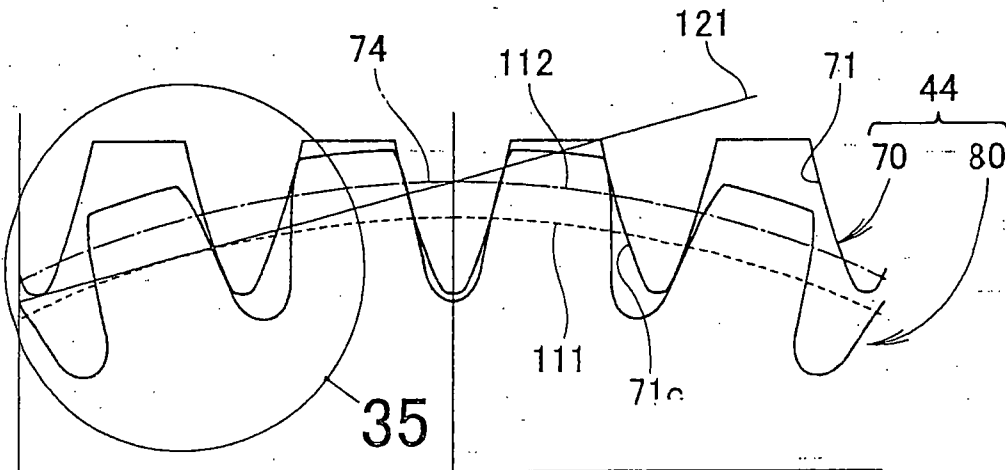


FIG. 34

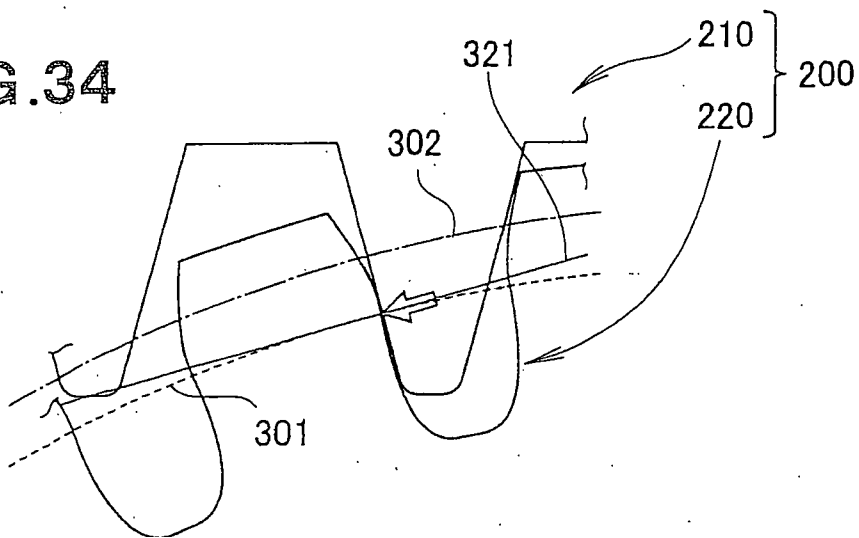


FIG.35

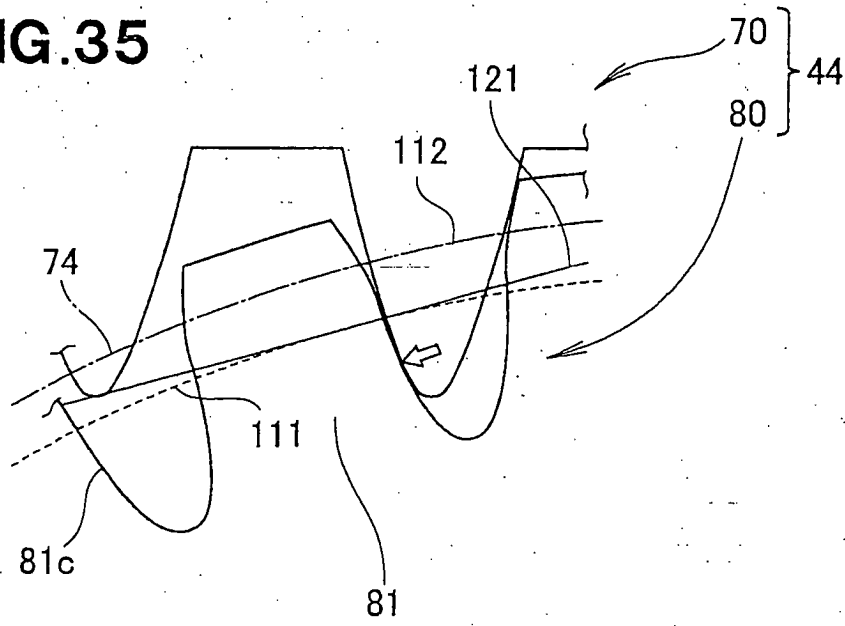


FIG.36

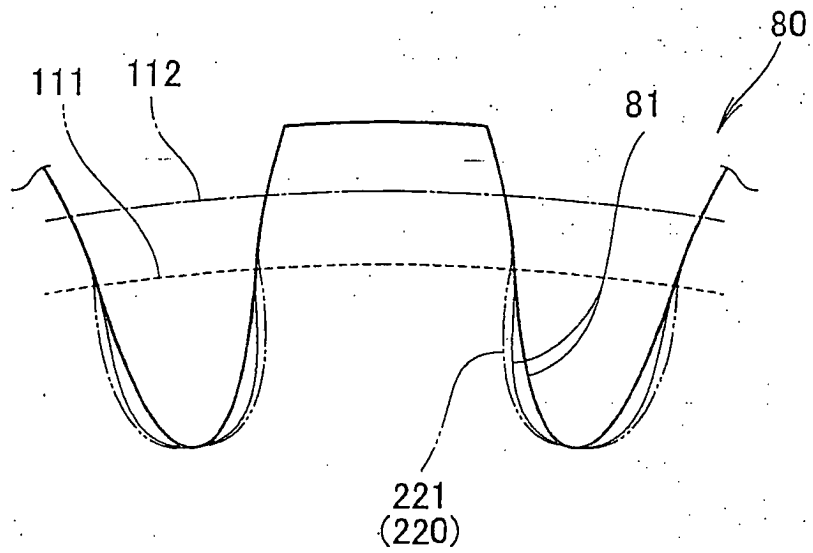


FIG.37

