

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 684 744 A5

⑤① Int. Cl.⁵: B 23 F 19/02
B 24 B 37/00

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENTSCHRIFT** A5

⑳ Gesuchsnummer: 3844/90

㉒ Anmeldungsdatum: 05.12.1990

㉓ Priorität(en): 07.12.1989 JP 1-318192

㉔ Patent erteilt: 15.12.1994

④⑤ Patentschrift
veröffentlicht: 15.12.1994

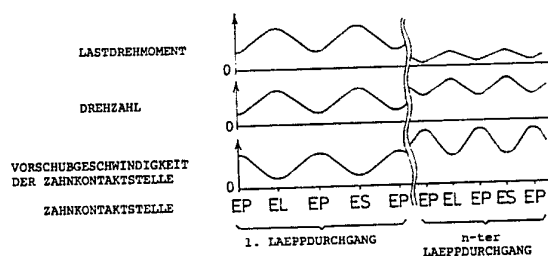
㉗ Inhaber:
Toyota Jidosha Kabushiki Kaisha,
Toyota-shi/Aichi-ken (JP)

㉘ Erfinder:
Kondo, Norihiko, Toyota-shi/Aichi-ken (JP)
Tsuzuki, Mikio, Toyota-shi/Aichi-ken (JP)
Miura, Yoshinori, Toyota-shi/Aichi-ken (JP)

㉙ Vertreter:
Ammann Patentanwälte AG Bern, Bern

⑤④ **Verfahren und Vorrichtung zum Läppen der Zähne eines Zahnradpaares.**

⑤⑦ Verfahren und Vorrichtung zum Läppen der Zähne eines Zahnradpaares durch Drehen eines der Zahnräder im Eingriff mit dem anderen, währenddem ein Lastdrehmoment auf das andere Zahnrad wirkt und das Zahnradpaar gegenseitig verschoben wird, so dass sich die Kontaktstelle der Zähne in Richtung der Breite der einander berührenden Zahnflanken verschiebt und jede Zahnflanke der Zahnräder im wesentlichen über deren gesamte Breite geläpft wird. Eine Läppsteuerung ist dazu vorgesehen, mindestens entweder das auf das entsprechende Zahnrad wirkende Lastdrehmoment, die Drehzahl der Zahnräder oder die Vorschubgeschwindigkeit der Kontaktstelle der Zahnräder zu verändern, währenddem die Zahnräder gegenseitig verschoben werden, um die Zahnkontaktstelle der Zahnräder in Richtung der Breite der einander berührenden Flanken der Zahnräder zu bewegen, so dass die Zahnradzähne je nach der Ausbildung und den Einsatzbedingungen der Zahnräder mit hohem Wirkungsgrad geläpft werden.



Beschreibung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Läppen der Zähne eines Zahnradpaares gemäss Oberbegriff der Ansprüche 1 bzw. 6.

Zur Verminderung von Zahnrad-Kämmgeräuschen werden die Zahnräder gewöhnlich geläppt, um die Oberflächenglätte zu verbessern. Bei einem bekannten Läppverfahren werden die Zahnflanken eines Zahnradpaares über die gesamte Breite nachbearbeitet, indem die Zahnräder im belasteten Zustand und im Eingriff miteinander gedreht und gleichzeitig gegeneinander verschoben werden, so dass die Kontaktstelle der beiden Zahnräder in Querrichtung der einander berührenden Zahnflanken verschoben wird. Ein Beispiel eines solchen Läppverfahrens ist in der Offenlegung der ungeprüften japanischen Patentanmeldung Nr. 64-51 222 (veröffentlicht am 27.2.1989) angegeben, wobei durchgehend eine Anzahl von Läppdurchgängen durchgeführt wird, wovon jeder Durchgang eine relative Bewegung der Zahnräder beinhaltet, um die gesamte Breite der Zahnflanken der Zahnräder zu läppen.

Bei der bekannten Anordnung zum Läppen, bei welcher ein Zahnradpaar im gegenseitigen Eingriff gedreht wird, werden ein auf eines der Zahnräder wirkendes Lastdrehmoment, die Drehzahl der Zahnräder und die Geschwindigkeit der Relativbewegung der Zahnräder während des ganzen Läppvorganges, der aus zwei oder mehreren Durchgängen besteht, auf bestimmten konstanten Werten gehalten.

Dieses Läppverfahren erlaubt eine konstante Abtragsgeschwindigkeit des Werkstoffes über die gesamte Breite der Zahnflanken der Zahnräder, gewährleistet jedoch keinen genügend hohen Gesamtleistungsgrad der Läppung. Ausserdem neigen die Zahnräder bei den bekannten Läppverfahren zur Überhitzung an den Rändern der Zahnflanken und zu Eingriffstörungen zwischen den Zähnen an denjenigen Stellen, die nicht geläppt sind, sobald die Zahnräder für den Betrieb eingebaut sind.

Insbesondere ist die Menge des von den Zähnen abzutragenden Metalls an verschiedenen Stellen der Zahnflanken je nach der Ausgestaltung und dem Verwendungszweck der zu läppenden Zahnräder unterschiedlich. Beim oben besprochenen konventionellen Verfahren ist die Menge des Metallabtrags über die gesamte Breite der Zahnflanken konstant. Gewöhnlich wird die Menge des Metallabtrags oder Läpptiefe auf einen grössten Wert eingestellt, welcher theoretisch nur für ein begrenztes Gebiet der Zahnflanken anwendbar wäre. Dies bringt eine unnötig lange Läppzeit mit sich, da die anderen Gebiete der Zahnflanken keinen so grossen Metallabtrag erfordern. Wenn die beiden Zahnräder überdies derart gegeneinander verschoben werden, dass die tatsächliche Kontaktstelle der Zähne an den gegenüberliegenden Enden der Breite der Zahnflanken in bezug auf einen Nominalwert vermindert ist, dann ist der Oberflächendruck an den gegenüberliegenden Enden der Zahnflanken übermässig hoch, was eine erhöhte Temperatur dieser Endpartien zur Folge hat, bzw. der Metallabtrag an den Endpartien ist übermässig hoch. An-

dererseits wird im Falle eines unnötig hohen Metallabtrags in der Mitte der Zahnflanken das Zahnspiel entsprechend erhöht, da dieses im allgemeinen vom Mittelteil der Zahnflanken definiert ist. Wenn die Zahnräder mit optimalem Spiel eingebaut werden, können die nicht geläppten Teile der Zahnflanken eines der beiden Zahnräder aus diesem Grunde mit den Zahnköpfen des anderen Zahnrads Eingriffstörungen verursachen.

Es ist daher ein erstes Ziel der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Läppen eines Zahnradpaares anzugeben, welches ein qualitativ hochstehendes Läppen der Zähne mit hohem Wirkungsgrad erlaubt.

Ein zweites Ziel der Erfindung ist es, eine zur Ausführung des oben genannten Verfahrens geeignete Vorrichtung anzugeben.

Das erste Ziel wird gemäss dem Prinzip der vorliegenden Erfindung erreicht, welche ein Verfahren zum Läppen der Zähne eines Zahnradpaares angibt, bei welchem eines der Zahnräder im Eingriff mit dem anderen gedreht wird, währenddem ein Lastdrehmoment auf das andere wirkt und das Zahnradpaar gegenseitig verschoben wird, so dass sich die Kontaktstelle der Zähne in Richtung der Breite der einander berührenden Zahnflanken verschiebt und jede Zahnflanke der Zahnräder im wesentlichen über deren gesamte Breite geläppt wird, wobei mindestens entweder das auf das oben genannte andere Zahnrad wirkende Lastdrehmoment, die Drehzahl des oben erwähnten einen Zahnrads oder die Vorschubgeschwindigkeit der Kontaktstelle der Zahnräder verändert wird, währenddem das Zahnradpaar gegenseitig verschoben wird, um die Kontaktstelle der Zähne in Richtung der Breite der einander berührenden Flanken der Zahnräder zu bewegen.

Das zweite Ziel wird gemäss einem zweiten Erfindungsgedanken mit einer Vorrichtung zum Läppen der Zähne eines Zahnradpaares erreicht, bei welcher eines der Zahnräder im Eingriff mit dem anderen gedreht wird, währenddem ein Lastdrehmoment auf das andere wirkt, und das Zahnradpaar gegenseitig verschoben wird, so dass sich die Kontaktstelle der Zähne in Richtung der Breite der einander berührenden Zahnflanken verschiebt und jede Zahnflanke der Zahnräder im wesentlichen über deren gesamte Breite geläppt wird, wobei die Vorrichtung (a) Drehmittel zum Drehen des oben genannten einen Zahnrads des Paares, (b) Belastungsmittel zum Belasten des oben genannten anderen Zahnrad mit dem Lastdrehmoment, (c) Stellmittel zur gegenseitigen Verschiebung des Zahnradpaares, und (d) eine Steuerung zur Veränderung mindestens entweder des auf das oben genannte andere Zahnrad wirkenden Lastdrehmoments, der Drehzahl des oben erwähnten einen Zahnrads oder der Vorschubgeschwindigkeit der Kontaktstelle der Zahnräder aufweist, während das Zahnradpaar von der Stellanordnung bewegt wird, um die Kontaktstelle der Zahnräder in Richtung der Breite der einander berührenden Flanken der Zahnräder zu verschieben.

Bei dem Verfahren und der Vorrichtung der vorliegenden Erfindung, die oben beschrieben sind,

wird mindestens eine der Bedingungen des Läppvorgangs während der gegenseitigen Bewegung der Zahnräder nach Bedarf verändert, nämlich, wie oben angegeben, mindestens entweder das Lastdrehmoment, die Drehzahl oder die Vorschubgeschwindigkeit der gegenseitigen Kontaktstelle der Zähne, so dass bestimmte Partien der Zahnflankenbreite abhängig von den verschiedenen Parametern wie Ausbildung und Einsatzbedingungen der Zahnräder mit einem verhältnismässig hohen Materialabtrag geläpft werden. Entsprechend gewährleisten das vorliegende Läppverfahren und die Vorrichtung ein wirksames Läppen der Zähne von Zahnrädern.

Da die Läppbedingungen für jede Partie der Zahnflankenbreite passend bestimmt werden können, kann beispielsweise ein übermässig hoher Materialabtrag in der Mitte der Zahnflanken vermieden werden. Auf diese Weise erlauben das vorliegende Verfahren und die Vorrichtung ein derartiges Läppen der Zahnradzähne, dass die geläpften Zahnräder im eingebauten Betriebszustand das gewünschte Spiel aufweisen und so Eingriffstörungen vermieden werden, welche andernfalls zwischen dem nicht geläpften Teil der Zahnradzähne eines der beiden Zahnräder und den Spitzen des anderen Zahnrads auftreten könnten.

Die Zähne der Zahnräder können in einer Mehrzahl von Durchgängen geläpft werden, wovon ein jeder eine Relativbewegung der Zahnräder beinhaltet, um die Kontaktstelle der Zähne im wesentlichen über die ganze Breite der Zahnflanken zu verschieben. In diesem Fall müssen nicht alle Durchgänge bei gleichen Läppbedingungen stattfinden. Beispielsweise kann das Lastdrehmoment in einem oder mehreren vergleichsweise frühen Läppdurchgang bzw. -durchgängen (z.B. dem ersten) grösser sein als im nachfolgenden oder den nachfolgenden (z.B. dem letzten Durchgang), und die Vorschubgeschwindigkeit der Zahnkontaktstelle wird dabei in einem oder mehreren relativ frühen Durchgang bzw. Durchgängen kleiner gehalten als im nachfolgenden oder den nachfolgenden. Die Zähne werden auf diese Weise im ersten oder in den relativ frühen Durchgängen unter vergleichsweise hohem Materialabtrag und mit einem hohen Wirkungsgrad geläpft, während die Läppung in den nachfolgenden Durchgängen bei einer vergleichsweise hohen Relativgeschwindigkeit der Zahnräder und unter relativ geringem Materialabtrag stattfindet. Dies gewährleistet einen hohen Wirkungsgrad und eine hohe Oberflächenglätte der geläpften Zahnflächen.

Während gemäss dem Prinzip der vorliegenden Erfindung mindestens einer der Parameter – Lastdrehmoment, Drehzahl und Vorschubgeschwindigkeit der Zahnkontaktstelle – verändert werden soll, ist es zur weiteren Verbesserung des Wirkungsgrades und der Qualität der Läppung vorteilhaft, wenn alle diese drei Läppbedingungen verändert werden.

Beispielsweise wird demnach das Lastdrehmoment und die Drehzahl kleiner gehalten, wenn sich die Zahnkontaktstelle in der Mitte der einander berührenden Zahnflanken befindet, als wenn die Kontaktstelle der Zähne am Rand der einander berührenden Zahnflanken liegt, während die Vorschubge-

schwindigkeit der Zahnkontaktstelle erhöht wird, wenn sich die Zahnkontaktstelle in der Mitte der in Berührung stehenden Flanken befindet, als wenn die Zahnkontaktstelle am Rand der Flächen liegt. Falls die Zahnräder in Richtung der Breite der sich berührenden Flanken derart gegeneinander verschoben werden, dass die Fläche der Zahnkontaktstelle in bezug auf einen Nominalwert an den Enden der Flanken abnimmt, so können Lastdrehmoment und Drehzahl kleiner gehalten werden, wenn sich die Zahnkontaktstelle jeweils an den gegenüberliegenden Enden der einander berührenden Flanken befindet als wenn die Kontaktstelle der Zähne in der Mitte der Flanken liegt, und die Vorschubgeschwindigkeit kann dabei erhöht werden. Dieses Vorgehen verhindert eine mögliche Überhitzung der Zahnradzähne und/oder einen übermässigen Materialabtrag an der gegenüberliegenden Endpartien.

Das oben Gesagte und weitere Gegenstände, Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden in der folgenden ausführlichen Beschreibung von gegenwärtig bevorzugten Ausführungsbeispielen der Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen erläutert, worin:

Fig. 1 ein Beispiel einer Zahnradläppmaschine von oben zeigt, welche zur Durchführung eines Ausführungsbeispiels eines Läppverfahrens gemäss vorliegender Erfindung geeignet ist,

Fig. 2 die Bewegung der Zahnkontaktstelle eines mit der Läppmaschine von Fig. 1 zu läppenden Zahnradpaars darstellt,

Fig. 3 eine perspektivische Ansicht von drei verschiedenen Zahnkontaktstellen auf der Zahnflanke eines der beiden Zahnräder von Fig. 2 zeigt,

Fig. 4 ein Blockdiagramm eines Steuersystems der Zahnradläppmaschine von Fig. 1 zeigt,

Fig. 5 ein Zeitdiagramm darstellt, welches die Änderungen der Läppbedingungen innerhalb eines Durchganges und zwischen verschiedenen Läppdurchgängen zeigt,

Fig. 6 eine perspektivische Ansicht von zwei unvollständigen Zahnkontaktstellen an gegenüberliegenden Enden der Oberfläche des Zahns nach Fig. 3 gemäss einer Variante der Erfindung zeigt,

Fig. 7 eine weitere Ausführungsvariante der vorliegenden Erfindung zeigt,

Fig. 8 ein Zeitdiagramm entsprechend demjenigen von Fig. 5 zeigt, welches das herkömmliche Läppverfahren für Zahnräder darstellt,

Fig. 9 einen Teilschnitt zeigt, der ein übermässiges Spiel zwischen den Zähnen der beiden geläpften Zahnräder darstellt, und

Fig. 10 einen Teilschnitt der beiden gemäss Fig. 9 geläpften Zahnräder im Eingriff zeigt, wobei diese mit nominellen Spiel betrieben werden.

Zunächst wird auf Fig. 1 Bezug genommen, welche eine Zahnradläppmaschine zum Läppen oder Nachbearbeiten der Zahnflanken eines Zahnradpaars 10, 12 zeigt. Beim Zahnrad 10 handelt es sich um ein Ritzel, während das Zahnrad 12 ein Tellerrad ist. Dieses Ritzel und Tellerrad werden im gegenseitigen Eingriff verwendet, beispielsweise als

Hypoidradpaar bei der Kraftübertragung eines Automobils. Das Ritzel 10 ist in einem Futter 18 eingespannt, welches auf der Antriebswelle 16 befestigt ist, die in einem Getriebekopf 14 um die Achse p drehbar gelagert ist. Das Tellerrad 12 andererseits ist in einem Futter 24 eingespannt, das an einer zweiten Antriebswelle 22 befestigt ist, welche in einem zweiten Getriebekopf um die Achse g drehbar gelagert ist.

Die beiden Antriebswellen 16, 22 werden von umsteuerbaren Antriebsmotoren 26 bzw. 27 angetrieben. Im Betrieb wird eines der Zahnräder 10, 12 vom betreffenden Antriebsmotor 26 bzw. 27 kraftschlüssig angetrieben, während sich das andere Zahnrad, welches mit dem starr angetriebenen Zahnrad im Eingriff steht und gedreht wird, in belastetem Zustand befindet. Das besagte andere Zahnrad wird nämlich durch den anderen Motor 26, 27 mit einem angemessenen Lastdrehmoment belastet. Die Richtung der Kraftübertragung zwischen den zwei Zahnrädern im tatsächlich für den Betrieb eingebauten Zustand bestimmt die Drehrichtung der Zahnräder 10, 12 und das vom betreffenden Motor 26 bzw. 27 starr angetriebene Zahnrad 10 bzw. 12. Das Lastdrehmoment und die Drehzahl des starr angetriebenen Zahnrads 10 bzw. 12 werden durch Steuerung des entsprechenden Motors 26 bzw. 27 reguliert.

Der erste Getriebekopf 14 ist verschiebbar auf zwei parallelen Führungsstangen 30 abgestützt, welche auf einer Grundplatte 28 in einer horizontalen Ebene parallel zur Drehachse g der Antriebswelle 22 angeordnet sind. Der Kopf 14 läuft auf den Führungsstangen 30 und wird von einer Stelleinrichtung 32 parallel zur Drehachse g auf das Tellerrad 12 zu- bzw. davon wegbewegt. Die Stelleinrichtung 32 für den ersten Getriebekopf 14 weist einen Zylinder auf, um den Kopf 14 zwischen einer zurückgezogenen Stellung, in welcher das Ritzel 10 in einem Abstand zum Tellerrad 12 steht, und einer vorgeschobenen Stellung, in welcher das Ritzel 10 und das Tellerrad 12 spielfrei im Eingriff stehen, hin- und herzubewegen. Die Stellanordnung 32 weist ferner eine Vorschubspindel und einen Motor zum Verdrehen derselben auf, um den ersten Getriebekopf 14 um eine angemessene, vorgegebene kleine Wegstrecke von der vorgeschobenen Stellung in die zurückgezogene Stellung zu bewegen, so dass ein geeignetes Spiel zwischen dem Ritzel 10 und dem Tellerrad 12 entsteht.

Die Antriebswelle 22, welche drehbar im zweiten Getriebekopf 20 gelagert ist, ist durch einen Antriebsmotor 34 über eine Spindel in senkrechter Richtung (senkrecht zu der Ebene von Fig. 1) bewegbar. Der zweite Getriebekopf 20 läuft auf einem zweiten Paar von parallelen Führungsstangen 36, welche ebenfalls auf der Grundplatte 28 angeordnet sind. Diese Führungsstangen 36 liegen in der horizontalen Ebene parallel zu der Drehachse p der Antriebswelle 16 des ersten Getriebekopfs 14. Geführt auf den Führungsstangen 36 wird der zweite Getriebekopf 20 von einem Antriebsmotor 38 über eine Spindel parallel zur Drehachse p bewegt. Auf diese Weise bilden die Antriebsmotoren 34, 38 den Hauptteil einer Stellanordnung zur Bewegung des

Tellerrads 12 in bezug auf das Ritzel 10 in einer vertikalen Ebene parallel zur Drehachse p, so dass die Kontaktstelle der im Eingriff stehenden Zähne der beiden Zahnräder 10, 12 in Richtung der Breite der einander berührenden Flanken derselben verschiebbar ist. Beispielsweise wird das Tellerrad 12 gegenüber dem Ritzel 10 in der oben erwähnten vertikalen Ebene verschoben, so dass die Kontaktstelle der Zähne der einander berührenden Flanken der Zahnräder 10, 12 in Richtung der Breite einer Zahnflanke 40 des Ritzels 10 verschoben wird, wie dies in Fig. 3 mit EL, EP und ES angegeben ist, wobei EP die Lage der Zahnkontaktstelle der Flanke 40 darstellt, wenn die Mitte der Flanke 40 des Ritzels 10 beim Punkt P liegt und mit der Mitte der Flankenbreite des Tellerrads übereinstimmt, wie in Fig. 2 angegeben, während EL und ES die Stellungen der Zahnkontaktstelle der Flanke 40 darstellen, wenn die gegenüberliegenden Endpartien der Flankenbreite des Ritzels 10, in Fig. 2 mit L und S bezeichnet, mit den gegenüberliegenden Endpartien des Tellerrads 10 ausgerichtet sind. Die Geschwindigkeit dieser Bewegung des Tellerrads 12 bezüglich des Ritzels 10, d.h. die Vorschubgeschwindigkeit der Zahnkontaktstelle der Zahnräder 10, 12, hängt von der Drehzahl der Antriebsmotoren 34, 38 ab. Die Zahnkontaktstellen EP, EL und ES auf der Oberfläche 40 des Ritzels 10 nach Fig. 3 beziehen sich auf einen kraftschlüssigen Antrieb des Ritzels 10 in Richtung des Pfeils in Fig. 2, um das Tellerrad 12 im Gegenuhrzeigersinn zu drehen, wie in Fig. 2 zu sehen ist (ebenfalls durch Pfeil dargestellt).

Die Läppmaschine ist mit einer Steuerung 42 ausgerüstet, die Antriebssignale DM1, DM2, DM3 und DM4 an entsprechende Motorsteuerungen 44, 46, 48 und 50 abgibt, um die Motoren 26, 27, 34 bzw. 38 zu steuern. Die Motoren 26, 27, 34, 38 sind jeweils mit Dreh-Encodern ausgerüstet, welche Positionssignale SX1, SX2, SX3 und SX4 erzeugen. Diese Positionssignale geben den Betriebszustand der entsprechenden Antriebsmotoren 26, 27, 34, 38 an und werden an die Steuerung 42 zurückgegeben, um die Wegstrecken des ersten und des zweiten Getriebekopfs 14 bzw. 20, d.h. die Stellung des Ritzels 10 und des Tellerrads 12 zu steuern.

Die Steuerung 42, welche aus einem sogenannten Microcomputer besteht, steuert die Motoren 26, 27, 34, 38 gemäss einem gespeicherten Steuerprogramm, um einen Läppvorgang des Ritzels 10 und des Tellerrads 12 auszuführen, wie weiter unten ausführlicher beschrieben wird. Die Läppbedingungen sind durch eine Einstellvorrichtung 52 vorgegeben, so dass das auf das Tellerrad 12 wirkende Lastdrehmoment, die Drehzahl des kraftschlüssig angetriebenen Ritzels 10 und die Vorschubgeschwindigkeit der Zahnkontaktstelle der Zahnräder 10, 12 in geeigneter Weise je nach der Ausbildung der Zähne und den Anwendungsbedingungen (Einsatzbedingungen) der Zahnräder 10, 12 verändert werden, während die beiden Zahnräder 10, 12 gegenseitig verschoben werden. Beim vorliegenden Ausführungsbeispiel wird der Läppvorgang in einer Mehrzahl von Durchgängen (Durchgänge 1 - n) ausgeführt. In jedem Läppdurchgang werden die

Zahnräder 10, 12 derart bewegt, dass die Zahnkontaktstelle der Flanke 40 des Ritzels 10 zuerst von der mit EP bezeichneten Mittelstellung der Breite der Zahnflanke 40 in eine mit EL bezeichnete Endstellung (entsprechend dem grösseren Durchmesser des Zahnrads 10) und dann in der Gegenrichtung von der Stellung EL über die Mittelstellung EP in die andere Endstellung ES der Breite (entsprechend dem kleineren Durchmesser des Zahnrads 10) bewegt wird, und schliesslich von der Stellung ES in die Mittelstellung EP. Dementsprechend werden die Oberflächen der Zahnräder 10, 12 in jedem Durchgang über deren gesamte Breite geläpft. Der Läpfdurchgang wird n-mal wiederholt, um die Zahnradzähne mit dem gewünschten Metallabtrag bis zur gewünschten Oberflächenglätte zu läppen. Es ist zu erwähnen, dass die Läppbedingungen, d.h. das Lastdrehmoment, die Drehzahl des Zahnrads 10 und die Vorschubgeschwindigkeit der Zahnkontaktstelle für jeden Läpfdurchgang vorgegeben sind.

Ein Beispiel der Läppbedingungen, welche mit der Eingabevorrichtung 52 vorgegeben werden, ist in Fig. 5 dargestellt, welche den ersten und den letzten Läpfdurchgang zeigt. In diesem Beispiel sind das auf das Tellerrad 12 wirkende Lastdrehmoment und die Drehzahl des Ritzels 10 höher, wenn die Zahnkontaktstelle bei den gegenüberliegenden Partien der Breite der Zahnflanke 40 liegt, die mit EL und ES bezeichnet sind, als wenn die Zahnkontaktstelle in der Mitte der Zahnflankenbreite liegt, die mit EP bezeichnet ist. Dementsprechend werden die Endpartien der Zahnbreite der Zahnräder 10, 12 mit grösserem Metallabtrag geläpft als die mittleren Partien. Die Kurve von Fig. 5 zeigt ebenfalls, dass das Lastdrehmoment und die Vorschubgeschwindigkeit der Zahnkontaktstelle (Geschwindigkeit der Relativbewegung der Zahnräder 10, 12) im ersten (und dem oder den folgenden) Läpfdurchgang höher bzw. geringer sind als im letzten (und dem oder den vorangehenden). Mit anderen Worten wird das Lastdrehmoment vermindert und die Vorschubgeschwindigkeit erhöht, während der Läppvorgang vom ersten zum letzten Durchgang voranschreitet, um die erwünschte Oberflächenglätte der geläpften Zahnradzähne zu erreichen.

Bei der vorliegenden Läppmaschine und dem Verfahren werden die Läppbedingungen auf geeignete Weise verändert, während die Zahnräder 10, 12 in jedem Läpfdurchgang gegenseitig bewegt werden, um die Zahnkontaktstelle in Richtung der Breite der Zahnflanken zu verschieben, wobei die spezifische Ausbildung und die Einsatzbedingungen der Zahnräder berücksichtigt werden, so dass bestimmte Partien der Zahnflankenbreite zur Verbesserung des Wirkungsgrades mit vergleichsweise hohem Metallabtrag geläpft werden. Weiterhin ist das auf das Tellerrad 12 wirkende Lastdrehmoment im ersten oder in den relativ frühen Läpfdurchgängen im Hinblick auf einen effizienten Läppvorgang relativ gross und die Geschwindigkeit der Relativbewegung der Zahnräder 10, 12 vergleichsweise langsam, und das Lastdrehmoment und die Geschwindigkeit der Relativbewegung werden beim

Voranschreiten des Läppvorgangs vermindert bzw. erhöht, damit die Zahnradzähne bis zur erwünschten Oberflächenglätte nachbearbeitet werden können. Damit wird der Läppvorgang relativ effizient ausgeführt, um eine genügend hohe Qualität der Läppung zu gewährleisten. Da die gesamte Läppzeit mit der vorliegenden Anordnung verkürzt wird, kann die notwendige Menge an Flüssigkeit mit Schleifpartikeln, welche auf die ineinandergreifenden Teile der zwei Zahnräder 10, 12 gegeben wird, deutlich reduziert werden.

Bei der herkömmlichen Läppmaschine und dem Verfahren bleiben die Läppbedingungen während dem gesamten Läppvorgang unverändert, wie in Fig. 8 dargestellt, so dass die ganze Oberfläche der Zahnflanken der Zahnräder bei gleichbleibender Menge bzw. Geschwindigkeit des Metallabtrags geläpft wird, welche im allgemeinen von der grössten Menge an Material bestimmt ist, die an einer bestimmten Stelle der Zahnflanken entfernt werden soll. Diese Anordnung erlaubt keinen wirksamen und genauen Läppvorgang.

Es ist ebenfalls zu bemerken, dass das Spiel der Zahnräder 10, 12, welche mit der vorliegenden Läppmaschine und dem Verfahren geläpft werden, nicht unnötig gross ist, da die Menge des Metallabtrags von den Mittelpartien der Breite (in Fig. 3 mit EP bezeichnet) der Zahnflanken relativ klein ist. Dementsprechend gibt es keine Eingriffstörungen zwischen den nicht geläpften Partien der Zahnflanken des Tellerrads 12 und den Köpfen der geläpften Zähne des Ritzels 10, wenn die Zahnräder 10, 12 mit vorgegebenem, optimalem Spiel für den Betrieb eingebaut werden. Bei der herkömmlichen Anordnung, wo die Menge des Metallabtrags von der Mittelpartie der Zahnflanken des Tellerrads 12 erheblich ist, ist das Spiel zwischen den geläpften Zahnradern 10, 12 im in der Läppmaschine eingespannten Zustand übermässig hoch, wie es aus BL1 in Fig. 9 hervorgeht. Wenn die geläpften Zahnräder 10, 12 dann mit optimalem Spiel für den Betrieb eingebaut werden, welches erheblich kleiner ist als BL1, wie aus BL0 in Fig. 10 hervorgeht, dann treten Eingriffstörungen zwischen den Zahnköpfen des Ritzels 10 und den nicht geläpften Teilen der Zähne des Tellerrads 12 auf.

Weiterhin ist die vorliegende Läppanordnung dazu geeignet, alle drei Läppbedingungen zu verändern, nämlich das auf das Zahnrad 12 wirkende Lastdrehmoment, die Drehzahl des Zahnrads 10 und die Geschwindigkeit der Relativbewegung der Zahnräder 10, 12. Diese Anordnung erlaubt eine wirksame Läppung der Zahnradzähne bei verbesserter Oberflächenbearbeitung und -glätte.

Beim obigen Ausführungsbeispiel ist die Menge des Metallabtrags an den gegenüberliegenden Endpartien der Zahnflanken der Zahnräder 10, 12 vergleichsweise hoch. Falls jedoch die tatsächliche Fläche der Zahnkontaktstelle gegenüber dem Nominalwert vermindert ist, wenn sich die Kontaktstelle an den gegenüberliegenden Enden der Breite der Zahnflanke befindet, wie in Fig. 6 gezeigt, so können Lastdrehmoment und Drehzahl des Zahnrads 10 an diesen Stellen relativ klein gehalten werden und/oder die Geschwindigkeit der Relativbewegung

der Zahnräder relativ hoch. Diese Variante der Erfindung verhindert eine Überhitzung oder einen übermässigen Metallabtrag an den Enden der Zahnflankenbreite.

Obwohl die vorliegende Erfindung anhand der gegenwärtig bevorzugten Ausführungsformen beschrieben wurde, kann sie auch anders ausgeführt werden.

In den Ausführungen der Fig. 1–5 und 6 wird, wie oben beschrieben, nur das Tellerrad 12 in bezug auf das Ritzel 10 bewegt, während die Zahnräder 10, 12 als Hypoidradpaar im gegenseitigen Eingriff rotieren. Das Ritzel 10 bzw. die Drehachse des Zahnrads 10 kann jedoch in einer horizontalen Ebene verdreht oder hin- und herbewegt werden, in welcher die Drehachse des Ritzels 10 liegt. Insbesondere wird das Ritzel 10 gemäss Fig. 7 um einen angemessenen Winkel in der mit eL bezeichneten Richtung verschwenkt, währenddem das Tellerrad 12 gegenüber dem Ritzel 10 vom Punkt P zum Punkt L bewegt wird, und dann in der Gegenrichtung os, währenddem das Tellerrad 12 vom Punkt P zum Punkt S verschoben wird. Bei dieser Ausführungsvariante behalten die einander berührenden Zahnflanken des Hypoidradpaars 10, 12 einen im wesentlichen konstanten Winkel bei, obwohl die Zahnflanken gegeneinander verschoben werden.

Während die dargestellten Ausführungen für das Läppen von Zähnen eines Zahnradpaars vorgesehen sind, welches ein Hypoidradpaar bildet, ist die vorliegende Erfindung ebenfalls für das Läppen von anderen Zahnradarten wie Kegelräder und Stirnräder anwendbar.

Bei den dargestellten Ausführungen werden sowohl das Ritzel 10 und das Tellerrad 12, welche im gegenseitigen Eingriff verwendet werden, geläpft. Die vorliegende Erfindung kann jedoch auch für das Läppen eines Zahnrads angewendet werden, indem ein anderes Zahnrad als Läppwerkzeug dient, welches zusammen mit dem zu läppenden Zahnrad rotiert, während die beiden Zahnräder wie bei den gezeigten Ausführungen aneinander reiben.

Obwohl die dargestellten Ausführungen zum Läppen der beiden Zahnräder in einer Mehrzahl von Durchgängen vorgesehen sind, kann der Läppvorgang auch in einem einzigen Durchgang durchgeführt werden.

Es ist ebenfalls möglich, dass in den verschiedenen Läppdurchgängen verschiedene Abfolgen von Läppbedingungen verwendet werden, (oder) es wird derselbe Ablauf für alle Läppdurchgänge verwendet. In diesem Fall werden die Läppbedingungen jedes Durchgangs gemäss den vorgegebenen Kurven des ersten Durchgangs des ersten Ausführungsbeispiels nach Fig. 5 verändert. Diesbezüglich ist zu bemerken, dass die Kurven, wonach die Läppbedingungen in jedem Läppdurchgang der Ausführung nach Fig. 5 verändert werden, nur als Beispiel dienen und je nach der Art und dem Verwendungszweck der zu läppenden Zahnräder auf geeignete Weise modifiziert werden können.

Während alle drei Parameter bei der gegenseitigen Bewegung der Zahnräder verändert werden, d.h. das auf das Zahnrad 12 wirkende Lastdrehmoment, die Drehzahl des Zahnrads 10 und die Ge-

schwindigkeit der Relativbewegung der Zahnräder 10, 12, wird das Prinzip der vorliegenden Erfindung ebenfalls angewendet, wenn mindestens einer der Parameter während eines Läppdurchgangs verändert wird. Beispielsweise kann nur das Lastdrehmoment oder das Lastdrehmoment und die Drehzahl verändert werden.

Es versteht sich, dass die vorliegende Erfindung mit verschiedenen anderen Änderungen, Modifikationen und Verbesserungen ausgeführt werden kann, welche dem Fachmann klar sind, ohne vom Gedanken und dem Umfang der in den folgenden Ansprüchen definierten Erfindung abzuweichen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Läppen der Zähne eines Zahnradpaars durch Drehen eines der Zahnräder im Eingriff mit dem anderen, währenddem ein Lastdrehmoment auf das andere wirkt und das Zahnradpaar gegenseitig verschoben wird, so dass sich die Kontaktstelle der Zähne in Richtung der Breite der einander berührenden Zahnflanken verschiebt und jede Zahnflanke der Zahnräder im wesentlichen über deren gesamte Breite geläpft wird, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens entweder das auf das oben genannte andere Zahnrad wirkende Lastdrehmoment, die Drehzahl des oben erwähnten einen Zahnrads oder die Vorschubgeschwindigkeit der Kontaktstelle der Zahnräder verändert wird, währenddem das Zahnradpaar gegenseitig verschoben wird, um die Kontaktstelle der Zähne in Richtung der Breite der einander berührenden Flanken der Zahnräder zu bewegen.

2. Verfahren gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Zähne des Zahnradpaars in einer Mehrzahl von Läppdurchgängen geläpft werden, wovon ein jeder eine Relativbewegung des Zahnradpaars beinhaltet, um die Zahnkontaktstelle im wesentlichen über die gesamte Breite der Zahnflanken zu verschieben, wobei das Lastdrehmoment in einem ersten der erwähnten Anzahl von Durchgängen grösser ist als in einem letzten Durchgang und die Vorschubgeschwindigkeit der Zahnkontaktstelle im ersten Läppdurchgang niedriger ist als im letzten.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Lastdrehmoment, die Drehzahl und die Vorschubgeschwindigkeit der Zahnkontaktstelle zusammen verändert werden, während die Kontaktstelle der Zahnräder bewegt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Lastdrehmoment und die Drehzahl niedriger sind, wenn sich die Zahnkontaktstelle in einer mittleren Partie der einander berührenden Zahnflanken befindet als wenn die Zahnkontaktstelle in einer Endpartie der einander berührenden Zahnflanken liegt, wobei die Vorschubgeschwindigkeit der Zahnkontaktstelle höher ist, wenn die Zahnkontaktstelle in der mittleren Partie der einander berührenden Flanken liegt als wenn sie in der Endpartie der einander berührenden Flanken liegt.

5. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Zahnradpaar gegenseitig in Richtung der Breite der einander berührenden Flanken

ken derart verschoben wird, dass die Fläche der Zahnkontaktstelle gegenüber einem Nominalwert an den gegenüberliegenden Enden der Breite der einander berührenden Flanken vermindert ist, wobei das Lastdrehmoment und die Drehzahl kleiner sind, wenn die Zahnkontaktstelle jeweils an den gegenüberliegenden Endpartien der einander berührenden Flanken liegt, als wenn die Zahnkontaktstelle in der Mitte der einander berührenden Flanken liegt, und die Vorschubgeschwindigkeit der Zahnkontaktstelle höher ist, wenn die Zahnkontaktstelle jeweils an den gegenüberliegenden Enden der einander berührenden Flanken liegt, als wenn die Zahnkontaktstelle in der Mitte der einander berührenden Flanken liegt.

6. Vorrichtung zum Läppen der Zähne eines Zahnradpaars durch Drehen eines der Zahnräder im Eingriff mit dem anderen, währenddem ein Lastdrehmoment auf das andere wirkt und das Zahnradpaar gegenseitig verschoben wird, so dass sich die Kontaktstelle der Zähne in Richtung der Breite der einander berührenden Zahnflanken verschiebt und jede Zahnflanke der Zahnräder im wesentlichen über deren gesamte Breite geläppt wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung Drehmittel zum Drehen des oben genannten einen Zahnrads des Paares, Belastungsmittel zum Belasten des oben genannten anderen Zahnrads mit dem Lastdrehmoment, Stellmittel zur gegenseitigen Verschiebung des Zahnradpaars und eine Steuerung zur Veränderung mindestens entweder des auf das oben genannte andere Zahnrad wirkenden Lastdrehmoments, der Drehzahl des oben erwähnten einen Zahnrads oder der Vorschubgeschwindigkeit der Kontaktstelle der Zahnräder aufweist, während das Zahnradpaar von der Stellanordnung bewegt wird, um die Kontaktstelle der Zahnräder in Richtung der Breite der einander berührenden Flanken der Zahnräder zu verschieben.

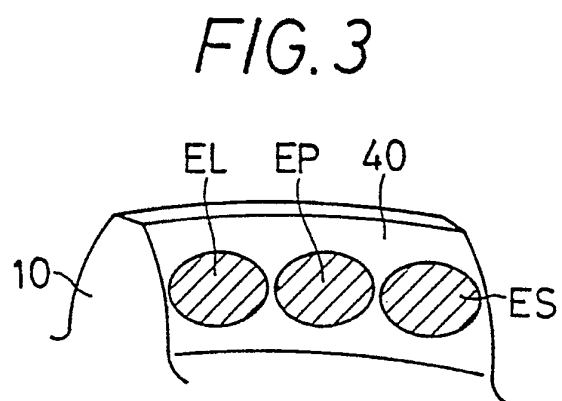
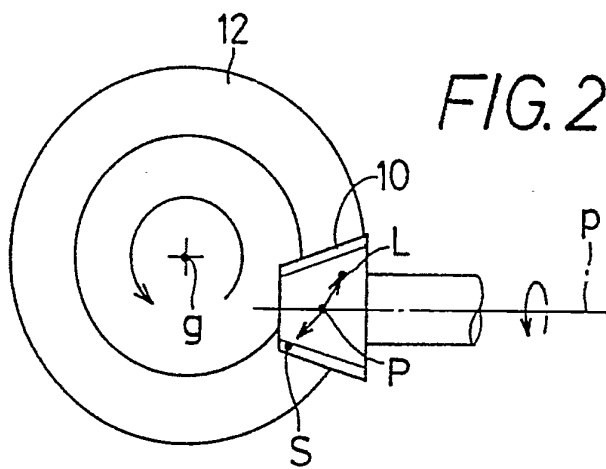
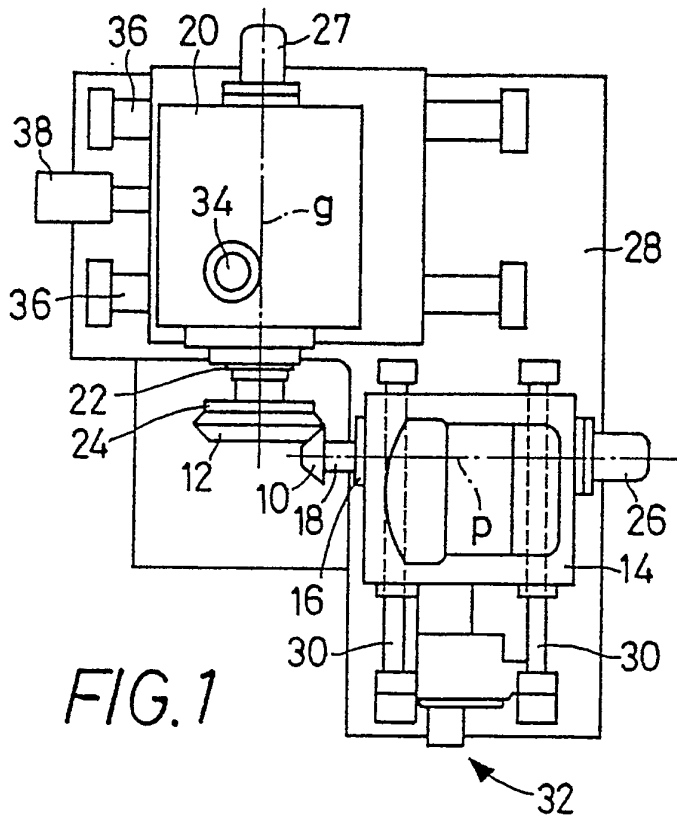
7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerung die Stellvorrichtung steuert, um in jedem Läppdurchgang eine Relativbewegung des Zahnradpaars durchzuführen und die Zahnkontaktstelle im wesentlichen über die gesamte Breite der Zahnflanken zu verschieben, wobei die Steuerung die Belastungsmittel derart steuert, dass das Lastdrehmoment in einem ersten Läppdurchgang grösser ist als in einem letzten, und die Stellmittel derart steuert, dass die Vorschubgeschwindigkeit der Zahnkontaktstelle im ersten Läppdurchgang niedriger ist als im letzten.

8. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerung die Belastungsmittel, die Drehmittel und die Stellmittel derart steuert, dass das Lastdrehmoment, die Drehzahl und die Vorschubgeschwindigkeit der Zahnkontaktstelle zusammen verändert werden, während die Zahnräder gegenseitig verschoben werden.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerung die Belastungsmittel, die Drehmittel und die Stellmittel derart steuert, dass das Lastdrehmoment und die Drehzahl niedriger sind, wenn sich die Zahnkontaktstelle in einer mittleren Partie der einander berührenden Zahnflanken befindet, als wenn die Zahnkontaktstel-

le in einer Endpartie der einander berührenden Zahnflanken liegt, wobei die Steuerung die Stellmittel derart steuert, dass die Vorschubgeschwindigkeit der Zahnkontaktstelle höher ist, wenn die Zahnkontaktstelle in der mittleren Partie der einander berührenden Flanken liegt als wenn sie in der Endpartie der einander berührenden Flanken liegt.

10. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerung die Stellmittel derart steuert, dass das Zahnradpaar gegenseitig in Richtung der Breite der einander berührenden Flanken so verschoben wird, dass die Fläche der Zahnkontaktstelle gegenüber einem Nominalwert an den gegenüberliegenden Enden der Breite der einander berührenden Flanken vermindert ist, wobei die Steuerung die Belastungsmittel und die Drehmittel derart steuert, dass das Lastdrehmoment und die Drehzahl kleiner sind, wenn die Zahnkontaktstelle jeweils an den gegenüberliegenden Endpartien der einander berührenden Flanken liegt als wenn die Zahnkontaktstelle in der Mitte der einander berührenden Flanken liegt, und die Steuerung die Stellmittel derart steuert, dass die Vorschubgeschwindigkeit der Zahnkontaktstelle höher ist, wenn die Zahnkontaktstelle jeweils an den gegenüberliegenden Enden der einander berührenden Flanken liegt als wenn die Zahnkontaktstelle in der Mitte der einander berührenden Flanken liegt.



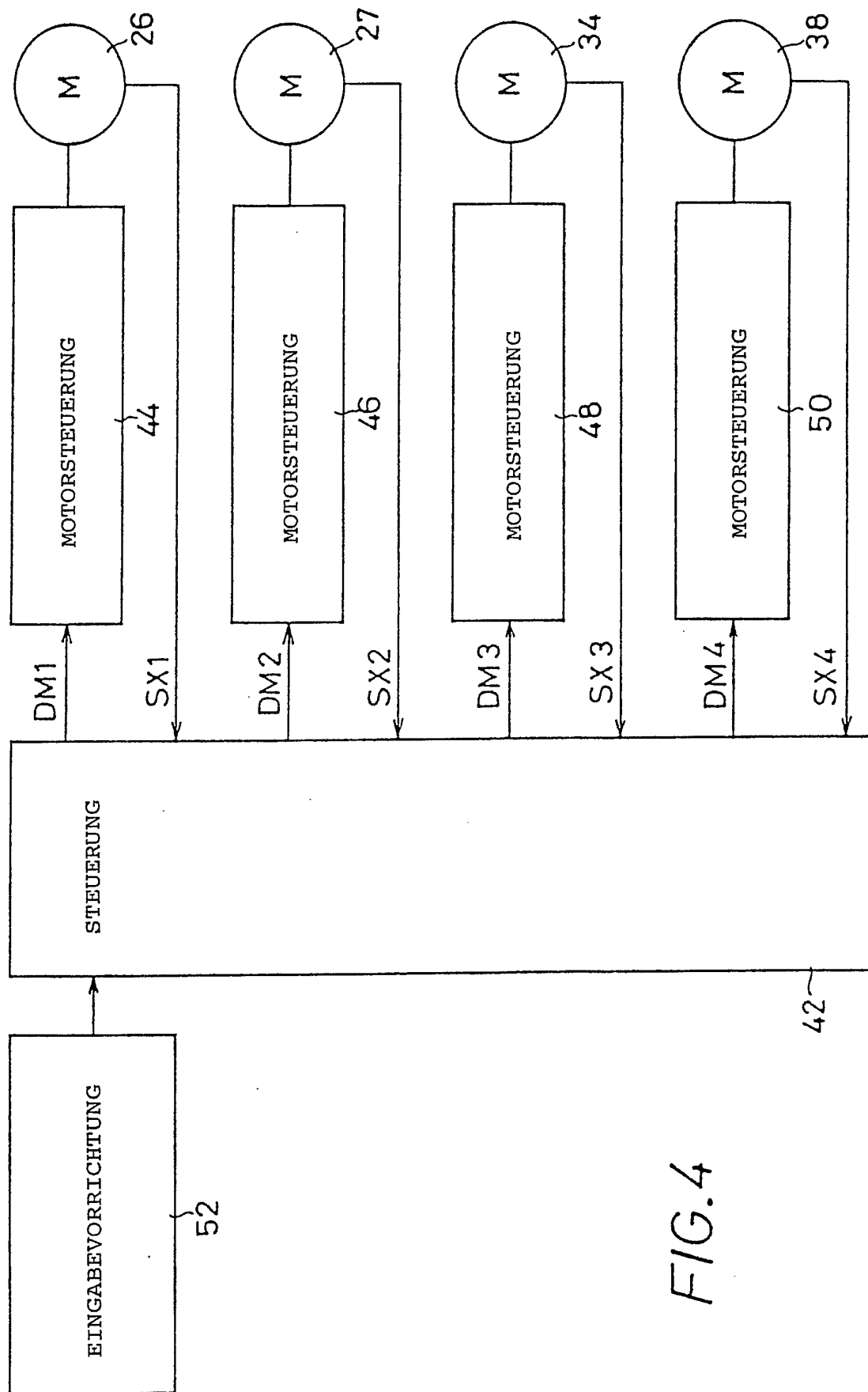


FIG.4

FIG.5

LASTDREHMOMENT

DREHZAHL

VORSCHUBGESCHWINDIGKEIT
DER ZAHNKONTAKTSTELLE

ZAHNKONTAKTSTELLE

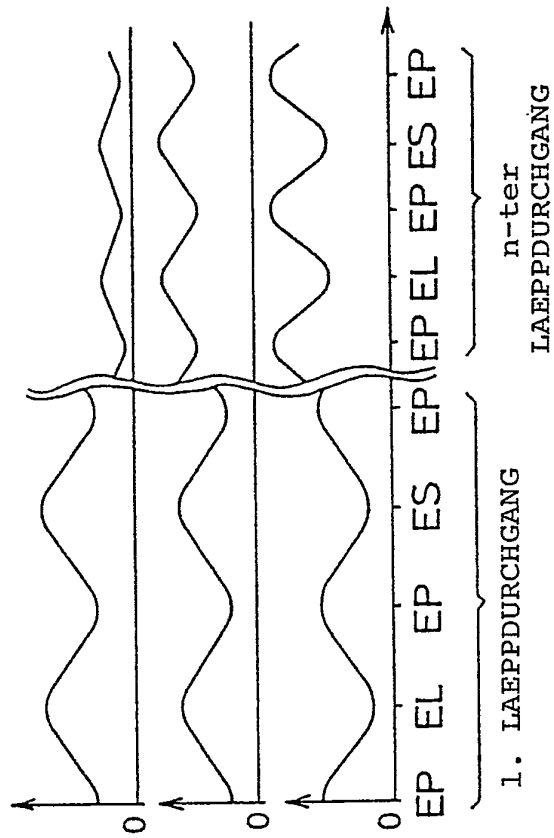


FIG.6

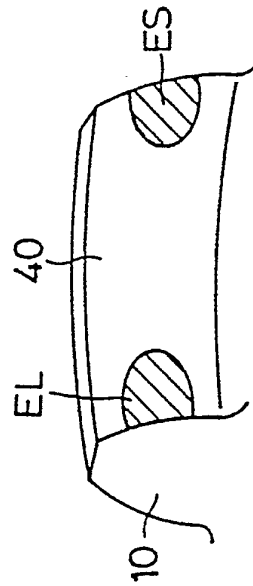
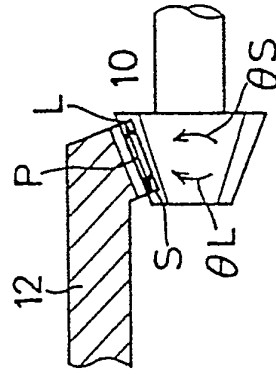


FIG.7



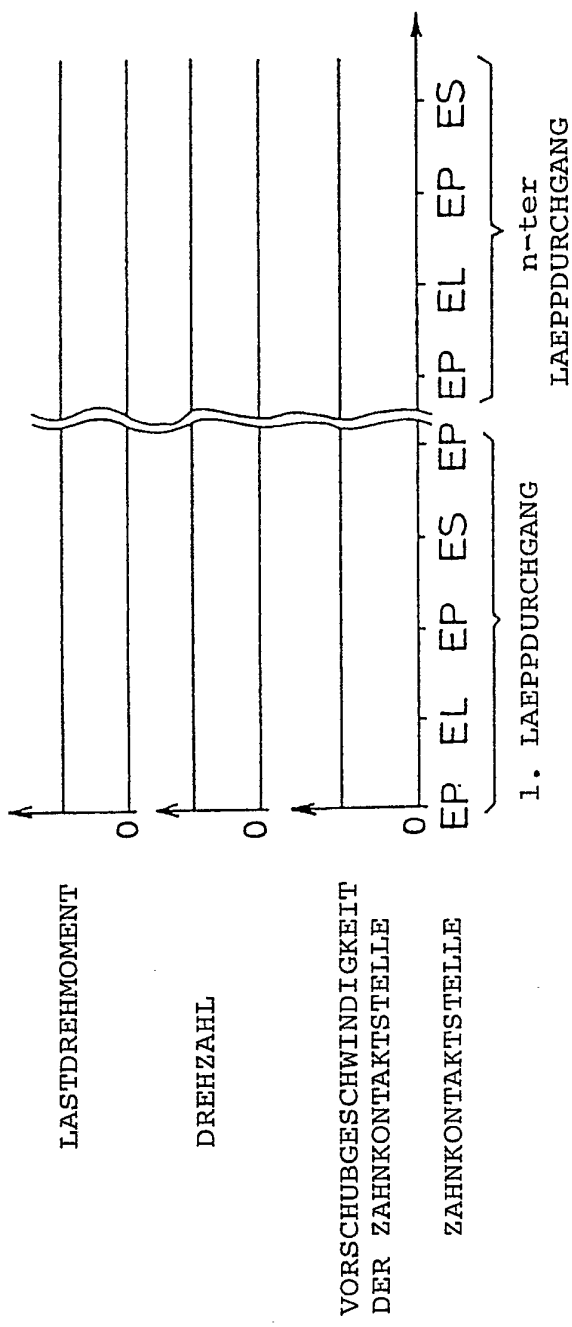


FIG. 9

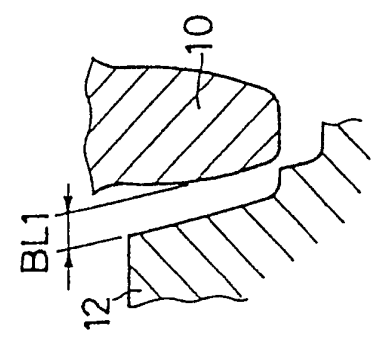


FIG. 10

