



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

① CH 655 881 A5

⑤ Int. Cl.⁴: B 23 F 23/08
B 23 Q 16/02

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

⑫ PATENTSCHRIFT A5

⑰ Gesuchsnummer: 2747/82

⑦③ Inhaber:
Reishauer AG, Zürich

⑳ Anmeldungsdatum: 04.05.1982

⑦② Erfinder:
Rebsamen, Roland, Greifensee

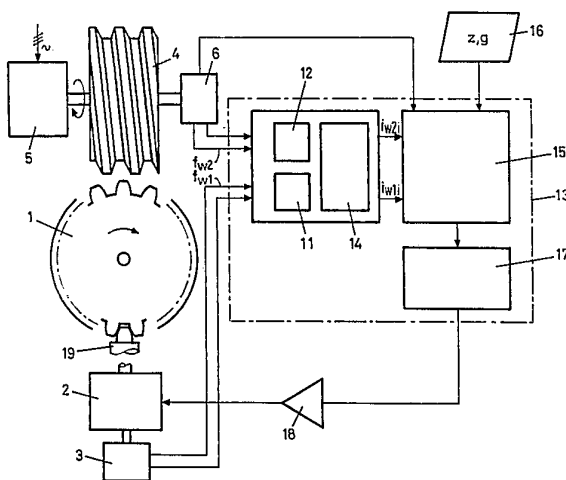
㉔ Patent erteilt: 30.05.1986

④⑤ Patentschrift
veröffentlicht: 30.05.1986

⑦④ Vertreter:
Patentanwalts-Bureau Isler AG, Zürich

⑤④ Verfahren und Einrichtung zum automatischen Einregulieren der Winkellage eines vorverzahnten Werkstücks bezüglich eines schneckenförmigen Werkzeugs.

⑤⑦ Das stillstehende, vorverzahnte Werkstück (1) wird mittels eines Positionierungsfingers (19) in einer Aufspannlage fixiert, in welcher seine Verzahnung mit derjenigen eines mit der Arbeitsdrehzahl laufenden, schneckenförmigen Werkzeugs (4) lagemässig übereinstimmt, wenn dieses eine durch eine Nullindexmarke eines Werkzeug-Impulsgebers (6) bestimmte Referenz-Winkellage durchläuft. Nach Entfernen des Positionierungsfingers (19) wird beim nächsten Durchlauf der Nullindexmarke der Werkstückantrieb (2) gestartet. In einer Recheneinheit (13, 15) werden vom gleichen Zeitpunkt an die Geberimpulse des Werkzeugs (4) gezählt und mit den gezählten Impulsen eines Werkstück-Impulsgebers (3) verglichen, um mit dem Vergleichssignal den Werkstückantrieb (2) zu steuern. Bei Erreichen des Gleichlaufs ermittelt die Recheneinheit (13, 15) die Drehwinkelabweichung des Werkstücks (1) bezüglich des Werkzeugs (4), reduziert die ermittelte Abweichung um eine Anzahl von der Zahnteilung (z) des Werkstücks (1) entsprechende Drehwinkelstücke, bis die Abweichung negativ wird, und regelt am Werkstück (1) die reduzierte Abweichung unter Einhaltung des Gleichlaufs aus. Dann wird das Werkzeug (4) in das Werkstück (1) eingefahren. Dieses Vorgehen ermöglicht eine genaue und rasche automatische Einregulierung der Winkellage des Werkstücks.



PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum automatischen Einregulieren der Winkellage eines vorverzahnten Werkstücks bezüglich der Verzahnung eines schneckenförmigen Werkzeugs auf einer im kontinuierlichen Wälzverfahren arbeitenden Zahnrad-Bearbeitungsmaschine, dadurch gekennzeichnet, dass das stillstehende Werkstück in einer bestimmten Aufspannlage fixiert wird, in welcher seine Verzahnungslage mit der einer Referenz-Winkellage des mit seiner Arbeitsdrehzahl laufenden Werkzeugs übereinstimmt, und dass das Werkstück in einem Zeitpunkt, in welchem das Werkzeug die genannte Referenz-Winkellage durchläuft, in Drehbewegung versetzt wird, bis es bezüglich Drehzahl und Winkellage mit dem Werkzeug synchronisiert ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkstück aus dem Stillstand auf eine Gleichlaufdrehzahl bezüglich des Werkzeugs gebracht wird, dass die Drehwinkelabweichung des Werkstücks bezüglich des Werkzeugs ermittelt wird, und dass die Winkellage des Werkstücks nur so weit verändert wird, bis die nächstliegende Zahnücke mit einem Zahn des Werkzeugs übereinstimmt.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass von der Drehzahl des Werkstücks und des Werkzeugs abhängige Impulse erzeugt werden, dass zur Steuerung der Drehzahl des Werkstücks in Abtastintervallen die Bilanz der Impulse des Werkstücks und des Werkzeugs gebildet wird, wobei die Impulse des Werkzeugs vom Zeitpunkt an erzeugt werden, in welchem das Werkzeug die Referenz-Winkellage durchläuft und gleichzeitig das Werkstück in Drehbewegung versetzt wird, und dass zur Ermittlung einer Drehwinkelabweichung zwischen dem Werkstück und dem Werkzeug die Impulse des Werkstücks und des Werkzeugs einzeln aufsummiert und miteinander verglichen werden, wobei nach dem Erreichen der Gleichlaufdrehzahl des Werkstücks nur diejenige Impulsdifferenz in Betracht gezogen wird, welche notwendig ist, um die nächstliegende Zahnücke des Werkstücks mit einem Zahn des Werkzeugs in Übereinstimmung zu bringen.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass zum Ermitteln der Referenz-Winkellage des Werkzeugs und zum Versetzen des Werkstücks in Drehbewegung je Umdrehung des Werkzeugs in einer bestimmten Winkellage des Werkzeugs ein Nullimpuls erzeugt wird.

5. Einrichtung zur Ausführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkstück und das Werkzeug mit je einem Drehschrittgeber versehen sind, deren von der jeweiligen Drehzahl abhängigen Impulse einem eine Sollwert-Istwert-Vergleichseinheit enthaltenden Rechner zur Erzeugung von Steuersignalen für die Drehbewegung des Werkstücks zugeführt sind, dass der Drehschrittgeber des Werkzeugs mit einem Nullindex versehen ist, und dass ein mechanischer Positionierungsfinger vorhanden ist, der in eine Zahnücke der Verzahnung des aufzuspannenden Werkstücks einführbar ist, um dessen Winkellage beim Aufspannen zu fixieren.

6. Einrichtung nach Patentanspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Rechner dazu ausgebildet ist, durch einen vom Nullindex des Drehschrittgebers des Werkzeugs erzeugten Nullimpuls zur Zählung der Impulse des Drehschrittgebers des Werkzeugs aktiviert zu werden.

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum automatischen Einregulieren der Winkellage eines vorverzahnten Werkstücks gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 sowie auf eine Einrichtung zur Ausführung des Verfahrens.

Aus der DE-OS 2 744 562 sind ein Verfahren und eine Einrichtung bekannt, um bei einer nach dem Schraubwälz-

verfahren arbeitenden, zwangslaufgeregelten Zahnradbearbeitungsmaschine das Einfahren des sich drehenden Werkzeugs in die vorbearbeitete Verzahnung eines sich in einem bestimmten Verhältnis zum Werkzeug drehenden Werkstücks zu steuern. Die bekannte Einrichtung arbeitet mit einem pneumatischen Differenzdruckgeber, welcher vor dem Bearbeitungsbeginn, d. h. ausserhalb eines Eingriffs des Werkzeugs in das Werkstück, zwischen das mit der Arbeitsdrehzahl laufende, schneckenförmige Werkzeug, z. B. einen Wälzfräser oder eine Schleifschnecke, und das vorverzahnte, ebenfalls mit der Arbeitsdrehzahl laufende Werkstück eingeführt wird. Dabei wird die gegenseitige Lage der Zähne des Werkstücks und des Werkzeugs durch die plötzlichen Druckänderungen, welche durch die am Geber vorbeilaufenden Zahnkopfkanten verursacht werden, ermittelt. Mit Schaltungsmitteln zur Erzeugung von Korrektursignalen wird das Werkstück in die bezüglich des Werkzeugs richtige Lage gebracht.

Da die Zahnkopfkanten, vor allem am vorverzahnten Werkstück, infolge ungleichmässiger Kopfkanten-Anschrägungen unterschiedlich sein können, ist dieses Verfahren mit Ungenauigkeiten behaftet. Dies kann dazu führen, dass beispielsweise bei Vorhandensein von sehr geringen Nachbearbeitungs-Aufmassen an den Zahnflanken dieselben am linken und rechten Profil nicht gleichmässig abgetragen werden, d. h. die Zahnflanken auf der einen Profilseite noch nicht nachbearbeitete Bereiche aufweisen können. Im weiteren muss für das Einfahren, das Messen und das Ausfahren des Gebers eine gewisse Zeit aufgewendet werden, die als Verlustzeit in die Kostenrechnung des Bearbeitungsprozesses eingeht.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist, ein Verfahren der eingangs genannten Art und eine Einrichtung zu seiner Ausführung zu schaffen, welche genauer und zeitgünstiger arbeiten.

Erfindungsgemäss weist das Verfahren der eingangs genannten Art die im kennzeichnenden Teil des Patentanspruchs 1 angeführten Merkmale auf. Die erfindungsgemässe Einrichtung zur Ausführung des Verfahrens ist durch die im Patentanspruch 5 angeführten Merkmale gekennzeichnet.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindungsgegenstände wird nachstehend anhand der Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Prinzipschema einer Einrichtung zur Ausführung des erfindungsgemässen Verfahrens,

Fig. 2 eine perspektivische Ansicht eines schneckenförmigen Werkzeugs mit angebautem Drehschrittgeber,

Fig. 3 bis Fig. 6 schematische Darstellungen verschiedener aufeinanderfolgender Schritte bei der Ausführung des Verfahrens,

Fig. 7 ein Diagramm des Verlaufs des Drehwinkels des Werkstücks in Abhängigkeit von der Zeit.

Gemäss Fig. 1 ist mit einem drehbaren Werkstück 1, welches als ein vorverzahntes Zahnrad teilweise dargestellt ist und welches von einem Werkstückmotor 2 angetrieben wird, ein Doppelspur-Drehschrittgeber 3 verbunden, wie er in bekannter Weise für eine Winkelschritt-Impulsabtastung mit gleichzeitiger Drehrichtungserkennung vorgesehen ist. Mit einem drehbaren Werkzeug 4, welches als Schleifschnecke dargestellt ist und welches von einem Werkzeugmotor 5 angetrieben wird, ist ein Dreispur-Drehschrittgeber 6 verbunden, bei welchem zwei Spuren ebenfalls für eine Winkelschritt-Impulsabtastung mit gleichzeitiger Drehrichtungserkennung vorgesehen sind. Die dritte Spur des Gebers 6 erzeugt einen sogenannten Nullindex, d. h. einen Nullimpuls bei jeder Umdrehung des Werkzeugs 4 in exakt der gleichen Winkellage des Werkzeugs 4.

Vorzugsweise sind die Rasterfelder der beiden Spuren des Gebers 3 bzw. der beiden erstgenannten Spuren des Gebers 6 jeweils um eine Viertelteilung ihrer Rasterteilung zueinander versetzt angeordnet. Dies ermöglicht einerseits eine Drehrichtungserkennung und andererseits eine Vervielfachung der Impulszahl je Umdrehung des Werkstücks 1 bzw. des Werkzeugs 4. Aus Fig. 2 ist ersichtlich, dass der auf einer Schleifspindel 7 des Werkzeugs 4 bzw. der Schleifschnecke fest angebrachte Drehschrittgeber 6 mit einer Nullindexmarke 8 versehen ist, so dass ein Geberkopf 9 jeweils beim Durchlaufen der Nullindexmarke 8, d. h. für eine bestimmte, feste Winkellage des Werkzeugs 4, einen entsprechenden Nullimpuls abgibt. Diese Winkellage ist auf dem Werkzeug 4 durch einen gegenüber der Senkrechten winkelmässig versetzten Punkt 10 angedeutet.

Gemäss Fig. 1 sind die Winkelschrittimpulse des Gebers 3 des Werkstücks 1, die mit einer Frequenz f_{w1} auftreten, und die Winkelschrittimpulse des Gebers 6 des Werkzeugs 4, die mit einer Frequenz f_{w2} auftreten, je einem Schaltungsteil 11 bzw. 12 eines Rechners 13 zugeführt. Die Schaltungsteile 11, 12 detektieren die jeweiligen Drehrichtungen des Werkstücks 1 und des Werkzeugs 4 und bilden eine Vervielfachung der Winkelschrittimpulse. Über eine angeschlossene Verbindungsschaltung 14 (Interface) gelangen die entsprechenden Impulse i_{w1i} bzw. i_{w2i} zu einer Recheneinheit 15. Der Recheneinheit 15 sind ebenfalls die Nullimpulse des Gebers 6 des Werkzeugs 4 zugeführt. Über ein weiteres Schaltungsteil 16 können die Zahnradzahlen, nämlich die Zähnezah z des Werkstücks 1 und die Gangzah g des Werkzeugs 4, eingegeben werden.

Die von der Recheneinheit 15 in noch zu erläuternder Weise erzeugten digitalen Steuersignale werden durch einen im Rechner 13 enthaltenen Digital-Analogwandler 17 in entsprechende analoge Steuersignale umgewandelt, welche über einen Leistungsverstärker 18 dem Werkstückmotor 2 zur Steuerung seiner Drehzahl zugeführt werden.

Die vorliegende Einrichtung weist zudem einen schematisch dargestellten Positionierungsfinger 19 auf. Dieser ist in Längsrichtung verschiebbar und greift in seiner vorgeschobenen Lage in eine Zahnücke der vorbearbeiteten Verzahnung des Werkstücks 1 ein. Der Positionierungsfinger 19 nimmt eine bezüglich des Maschinenständers fixe Lage ein, wodurch gewährleistet wird, dass jedes Werkstück 1 in einer bezüglich seiner Verzahnung immer gleichen Bearbeitungslage aufgespannt wird. Ferner ist ersichtlich, dass die Winkellage des Werkzeugs 4 bezüglich des Positionierungsfingers 19 bei der Erzeugung des Nullimpulses starr ist. Durch den Positionierungsfinger 19 und durch die Nullindexmarke 8 (Fig. 2) des Gebers 6 des Werkzeugs 4 wird somit immer die genau gleiche Ausgangslage des Werkstücks 1 und des Werkzeugs 4 gewährleistet.

Anhand der Fig. 3 bis 6 werden nun die aufeinanderfolgenden Schritte des mittels der Einrichtung nach Fig. 1 einschliesslich des Positionierungsfingers 19 der Fig. 3 ausgeführten Verfahrens zum automatischen Einregulieren der Drehzahl und der Winkellage des Werkstücks 1 bezüglich des Werkzeugs 4 beschrieben.

Gemäss Fig. 3 wird in einem Zeitpunkt $t < 0$ das Werkstück 1 mittels des Positionierungsfingers 19 in die bereits erwähnte fixe Lage gebracht und in dieser auf dem Werkstückantrieb aufgespannt. Das Werkzeug 4, das sich ausserhalb eines Eingriffs mit dem Werkstück 1 befindet, dreht hierbei mit seiner Arbeitsdrehzahl n_{w2} .

Anschliessend wird der Positionierungsfinger 19 aus der Verzahnung des Werkstücks 1 ausgefahren, was mit Vorteil automatisch erfolgt. Da es möglich ist, dass sich das Werkstück 1 beim Ausfahren des Positionierungsfingers 19 um einen gewissen, wenn auch kleinen Winkel verdrehen könnte,

erfolgt die Aktivierung einer Zählung der Impulse des Gebers 3 des Werkstücks 1 in der Recheneinheit 15 bereits kurz vor dem Beginn der Ausfahrbewegung des Positionierungsfingers 19. Dadurch werden in der Recheneinheit 15 Ausrichtabweichungen des Werkstücks 1 nach dessen Aufspannen von anfang an berücksichtigt, indem die entsprechenden Geberimpulse je nach Sinn der genannten kleinen Verdrehung des Werkstücks 1 in der Recheneinheit 15 positiv oder negativ gezählt und gespeichert werden.

Nachdem der Positionierungsfinger 19 vollständig aus der Verzahnung des Werkstücks 1 ausgefahren ist, wird in der Recheneinheit 15 durch eine nicht näher erläuterte Schaltungsvorrichtung eine Steuerlogik für die Nullimpulserkennung freigegeben, beispielsweise ein Zeitfenster, in welchem ein der Recheneinheit 15 gemäss Fig. 1 zugeführter Nullimpuls erkannt wird. Die Nullindexmarke 8 (Fig. 2) wird nun ein nächstes Mal am Geberkopf 9 vorbeilaufen, was in Fig. 4 schematisch dargestellt ist. Insbesondere ist daraus ersichtlich, dass in diesem Zeitpunkt $t = 0$ der der Lage der Nullindexmarke 8 entsprechende Punkt 10 des mit der Drehzahl n_{w2} drehenden Werkzeugs 4 genau mit einem virtuellen Berührungspunkt 20 des stillstehenden Werkstücks 1 ($n_{w1} = 0$) übereinstimmt, d. h. dass die beiden Profile lagemässig übereinstimmen.

In diesem Ausgangszeitpunkt $t = 0$ bewirkt das Nullsignal erstens die Zählung der vom Geber 6 des Werkzeugs 4 erzeugten Winkelschrittimpulse in der Recheneinheit 15, zweitens den Start des Werkstückmotors 2 zwecks Hochlaufens des Werkstücks 1 und drittens eine Drehwinkelberechnung für das Werkstück 1 und das Werkzeug 4. In an sich bekannter Weise erfolgt in der Recheneinheit 15 die Erzeugung von Steuersignalen für den Werkstückmotor 2 durch jeweilige Bilanzbildung der Impulse der Geber 3 und 6 in sehr kurzen Zeitabständen von etwa 1 ms, wie dies beispielsweise in der DE-PA 2 724 602 beschrieben ist. Die Bestimmung des in einem Zeitpunkt t zurückgelegten Drehwinkels erfolgt durch Aufsummieren der Winkelschrittimpulse in der Recheneinheit 15. Im Falle des Werkstücks 1 werden hierbei die von seinem Geber 3 gelieferten Impulse zuerst mit der Zähnezah z und der reziproken Gangzah $1/g$ multipliziert und hierauf aufsummiert, so dass der im Zeitpunkt t zurückgelegte Drehwinkel α_{w1} des Werkstücks 1 gegeben ist durch

$$\alpha_{w1} = \sum_{i=0}^{t/\Delta t} i_{w1i} \cdot \frac{z}{g}$$

worin Δt die Abtastzeit der Recheneinheit 15 und i_{w1i} die Anzahl der Impulse des Gebers 3 pro Abtastintervall Δt sind. Die aufsummierte Winkelschrittimпульszahl des Gebers 6 des Werkzeugs 4 ist proportional dem zurückgelegten Drehwinkel bezüglich der Nullindexlage, so dass der im Zeitpunkt t zurückgelegte Drehwinkel α_{w2} des Werkzeugs 4 gegeben ist durch

$$\alpha_{w2} = \sum_{i=0}^{t/\Delta t} i_{w2i}$$

worin i_{w2i} die Anzahl der Impulse des Gebers 6 pro Abtastintervall Δt ist.

Beim Hochlaufen wird das Werkstück 1 mit dem maximalen Drehmoment des Werkstückmotors 2 auf die für den Gleichlauf mit dem Werkzeug 4 erforderliche Drehzahl beschleunigt. Diese ist gegeben durch

$$n_{w1} = n_{w2} \cdot g/z,$$

wobei n_{w1} und n_{w2} die Drehzahlen des Werkstücks 1 bzw. des Werkzeugs 4 sind. Die Recheneinheit 15 ermittelt diese Drehzahl über die folgende Bedingung für die ihm zugeführten Impulse i_{w1i} und i_{w2i} :

$$i_{w1i} \cdot z/g = i_{w2i}.$$

Mit der Erreichung der Gleichlaufdrehzahl ist jedoch eine Übereinstimmung der Drehwinkellage des Werkstücks 1 mit derjenigen des Werkzeugs 4 noch nicht erreicht. Vielmehr liegt in einem Zeitpunkt t , in welchem die Gleichlaufdrehzahl erreicht wird, ein Drehwinkelfehler $\Delta\alpha$ des Werkstücks 1 vor, der gegeben ist durch

$$\begin{aligned} \Delta\alpha &= \alpha_{w2}(t^*) - \alpha_{w1}(t^*) \\ &= \sum_{i=0}^{t/\Delta t} \left(i_{w2i} - i_{w1i} \cdot \frac{z}{g} \right), \end{aligned}$$

worin $\alpha_{w2}(t^*)$ und $\alpha_{w1}(t^*)$ die im Zeitpunkt t^* zurückgelegten Drehwinkel des Werkzeugs 4 bzw. des Werkstücks 1 sind. In Fig. 5 ist eine solche Lage des Werkstücks 1 bezüglich des Werkzeugs 4 dargestellt. Der dargestellte Drehwinkelfehler $\Delta\alpha$ ist natürlich um eine beträchtliche Anzahl voller Umdrehungen 2π des Werkstücks 1 grösser, was jedoch ohne Belang ist.

Um den erwähnten Drehwinkelfehler auszugleichen, müsste nun das Werkstück 1 über die Gleichlaufdrehzahl hinaus beschleunigt werden, was jedoch praktisch nicht realisierbar ist, weil das Einholen des Weges des Werkzeugs 4 eine beträchtliche Mehrzeit für den Einregulierungsprozess zur Folge hat. Wie nachstehend erläutert, vermeidet das vorliegende Verfahren diese Nachteile.

Gemäss dem vorliegenden Verfahren wird die Wiederholung der Zahngeometrie berücksichtigt, indem nach Erreichen der Gleichlaufdrehzahl, d. h. in einem Zeitpunkt $t \geq t^*$, in der Recheneinheit 15 die verbleibende Drehwinkelabweichung $\Delta\alpha$ um Drehwinkelstücke pro Zahn des Werkstücks 1 reduziert wird, bis die Drehwinkelabweichung kleiner als der einer Zahnteilung entsprechende Drehwinkel wird. Der entsprechende Drehwinkelfehler $\Delta\alpha_{\min}$ ist dann also

$$\Delta\alpha_{\min} = \text{mod}(\Delta\alpha, K) - K$$

worin K die Werkstückimpulse pro Umdrehung sind. Nach dieser Korrektur werden die Drehwinkel in der Recheneinheit 15 nicht mehr absolut ermittelt, sondern nur noch deren Differenz.

Der nach der genannten Reduktion verbleibende Rest von Impulsen stellt den Winkel $\Delta\alpha_{\min}$ dar, um welchen das Werkstück 1 zurückgedreht werden muss, bis eine seiner Zahnflächen mit einem Zahn des Werkzeugs 4 lagemässig übereinstimmt. Mit Hilfe dieser Restmenge an Impulsen wird durch ihre Zuführung in einen vorhandenen Regelkreis der Schleifmaschine eine Einregelung durchgeführt, wie dies

beispielsweise in der DE-PS 2 724 602 beschrieben ist. Nach einigen wenigen Pendelbewegungen um den theoretischen Wert wird die Regelung für das Einzentrieren der Verzahnung sich stabilisieren, wonach nun das Werkzeug 4 bedenkenlos mit grösster Genauigkeit in die Verzahnung des vorverzahnten Werkstücks 1 eingefahren werden kann. In Fig. 6 ist dieser Zustand der abgeschlossenen Synchronisation vor dem Einfahren des Werkzeugs 4 in das Werkstück 1 dargestellt.

Bei dem beschriebenen Verfahren ist es demnach nicht erforderlich, das Werkstück 1 über die Gleichlaufdrehzahl hinaus zu beschleunigen. Zudem erfolgt die Einregelung der Drehwinkellage des Werkstücks 1 auf die durch die Zahnteilung gegebene nächste übereinstimmende Lage zwischen einem Zahn des Werkzeugs 4 und einer Zahnfläche des Werkstücks 1 innert sehr kurzer Zeit.

In Fig. 7 ist in Abhängigkeit von der Zeit t der Verlauf des Drehwinkels α des Werkstücks entsprechend den vorgängig beschriebenen Regulierabläufen schematisch, d. h. nicht massstäblich, dargestellt. Mit A ist hierin der theoretische Verlauf bezeichnet, mit B der effektive Verlauf bei Einholung der gesamten Drehwinkelabweichung $\Delta\alpha$ abzüglich ganzzahliger Umdrehungen 2π des Werkstücks, und mit C der effektive Verlauf bei Korrektur des reduzierten Drehwinkelfehlers $\Delta\alpha_{\min}$.

Der theoretische Verlauf A des Drehwinkels α des Werkstücks in Abhängigkeit von der Zeit t ist selbstverständlich eine vom Zeitpunkt $t = 0$ ausgehende Gerade, deren Neigung $\Delta\alpha/\Delta t$ durch die Gleichlaufdrehzahl des Werkstücks bezüglich des Werkzeugs im geregelten Betriebszustand gegeben ist. Der Zeitpunkt $t = 0$ ist hierbei derjenige Startzeitpunkt, in welchem die Verzahnungslage des aufgespannten Werkstücks mit der Referenz-Winkellage des Werkzeugs, d. h. mit dessen Verzahnung, übereinstimmt. Da jedoch in diesem Zeitpunkt, wie vorgängig beschrieben, das Werkstück stillsteht und nur das Werkzeug mit seiner Arbeitsdrehzahl läuft, müsste das Werkstück für das Einhalten des Drehwinkelverlaufs A im Zeitpunkt $t = 0$ innerhalb einer unendlich kleinen Zeit auf seine Gleichlaufdrehzahl beschleunigt werden, weshalb der dargestellte Verlauf A bloss ein theoretischer Verlauf ist.

Effektiv erfolgt vom Zeitpunkt $t = 0$ aus die Drehbeschleunigung des Werkstücks innerhalb endlichen Zeitabschnitten, wie dies durch den Verlauf B dargestellt ist. Im Zeitpunkt t^* , in welchem die Tangente des Verlaufs B die Neigung des theoretischen Verlaufs A hat, erreicht das Werkstück den Sollwert seiner Drehzahl für den Gleichlauf mit dem Werkzeug. Die Drehwinkelabweichung $\Delta\alpha$ in diesem Zeitpunkt hat jedoch gegenüber der anfänglichen Drehwinkelübereinstimmung $\Delta\alpha = 0$ zwischen dem Werkstück und dem Werkzeug im Zeitpunkt $t = 0$ einen endlichen Wert. Somit ist das Werkstück weiter zu beschleunigen, damit es mit einer gegenüber der Drehzahl des Werkzeugs höheren Drehzahl die Drehwinkelabweichung $\Delta\alpha$ einholen kann. Im Zeitpunkt t_1 hat das Werkstück gemäss dem dargestellten Verlauf B diese Drehwinkelabweichung $\Delta\alpha$ korrigiert, so dass in diesem Zeitpunkt der beschleunigte Antrieb des Werkzeugs reduziert und die Gleichlaufdrehzahl einschliesslich des relativen Drehwinkels einreguliert werden, bis in einem späteren Zeitpunkt t_2 der Zustand der abgeschlossenen Synchronisation erreicht ist und das Werkzeug in das Werkstück eingefahren werden kann.

Um die bis zum Erreichen des Synchronisierungszustandes erforderliche zeitliche Verzögerung (Zeitpunkt t_2) und auch das fortgesetzte Beschleunigen des Werkstückantriebs im Zeitpunkt t^* zu vermeiden, wird beim vorliegenden Verfahren beim Erreichen der Gleichlaufdrehzahl im Zeitpunkt t^* die Beschleunigung des Werkstückantriebs unterbrochen,

so dass das Werkstück gemäss dem dargestellten Verlauf C in einer auslaufenden Drehbewegung mit sich ständig vermindern- den Beschleunigung dreht. Gleichzeitig wird im Zeitpunkt t^* der Drehwinkel- fehler $\Delta\alpha_{\min}$ zum nächsten Zahn des Werkstücks bestimmt, d. h. von der gesamten, im Zeitpunkt t^* vorliegenden, um ein Vielfaches von 2π reduzierten Drehwinkelabweichung $\Delta\alpha$ werden so viele der Zahnteilung z entsprechende Drehwinkelstücke (im dargestellten Beispiel vier Drehwinkelstücke) abgezogen, bis gemäss Fig. 7 der

Drehwinkel- fehler $\Delta\alpha_{\min}$ negativ geworden ist. Hierauf wird, wie bereits beschrieben, der Drehwinkel- fehler $\Delta\alpha_{\min}$ unter schliesslicher Einhaltung der Gleichlauf- drehzahl ausgeregelt, was nach kurzer Pendelbewegung im dargestellten Zeitpunkt t_3 erfolgt ist. Es ist ersichtlich, dass auf diese Weise die Ein- regulierung der Winkellage des Werkstücks innerhalb einer wesentlichen kürzeren Zeit t_3 als der Zeit t_2 für das vollständige Einholen der Drehwinkel- abweichung $\Delta\alpha$ gemäss Verlauf B beendet ist.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

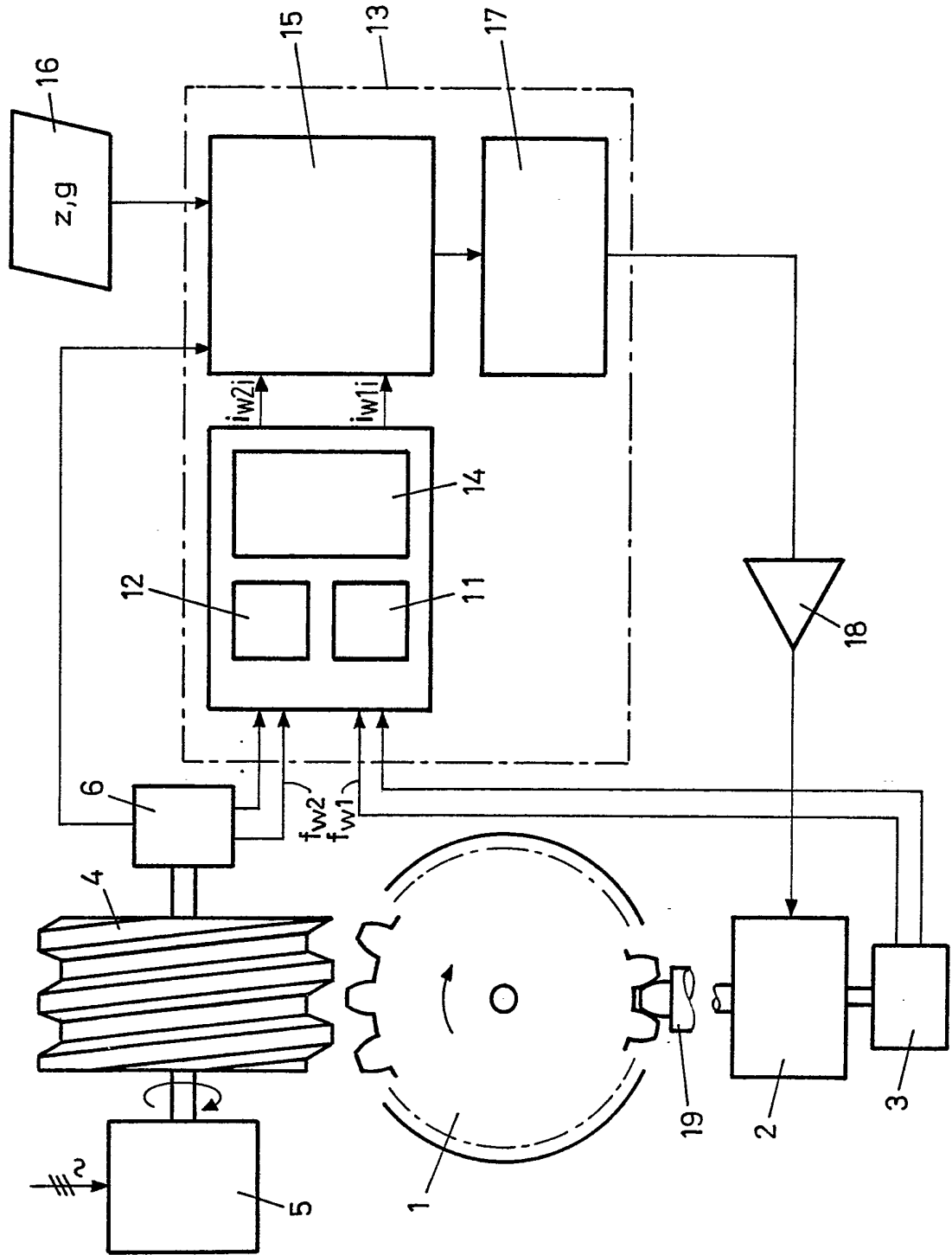


FIG. 1

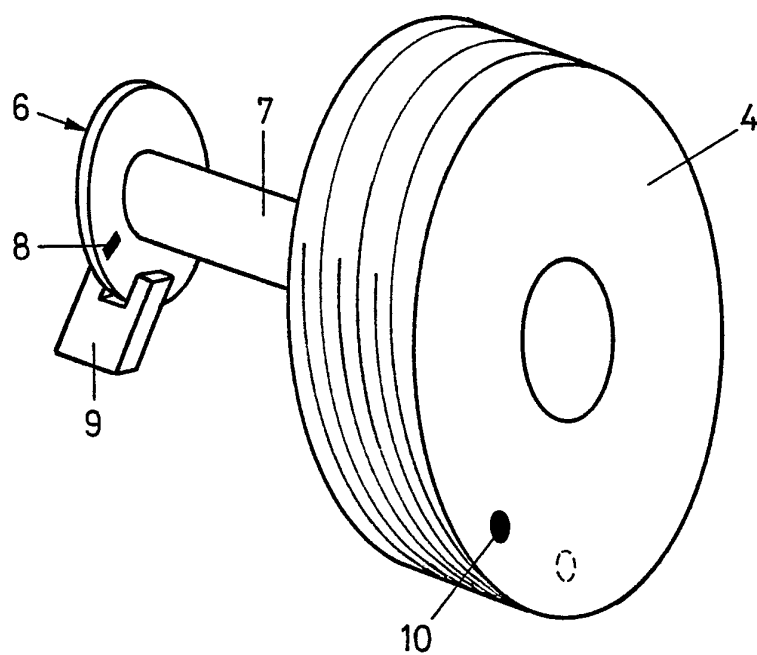


Fig. 2

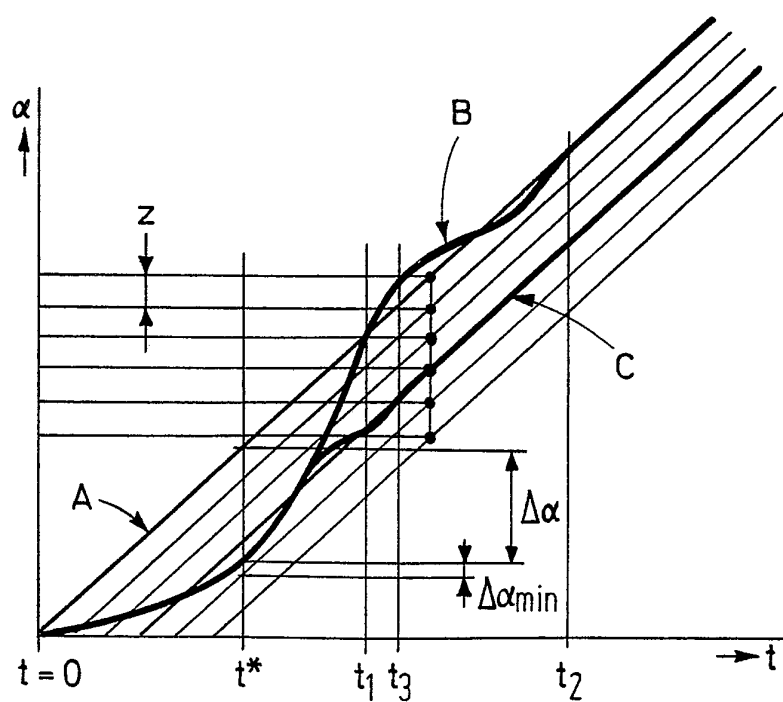


Fig. 7

Fig. 3

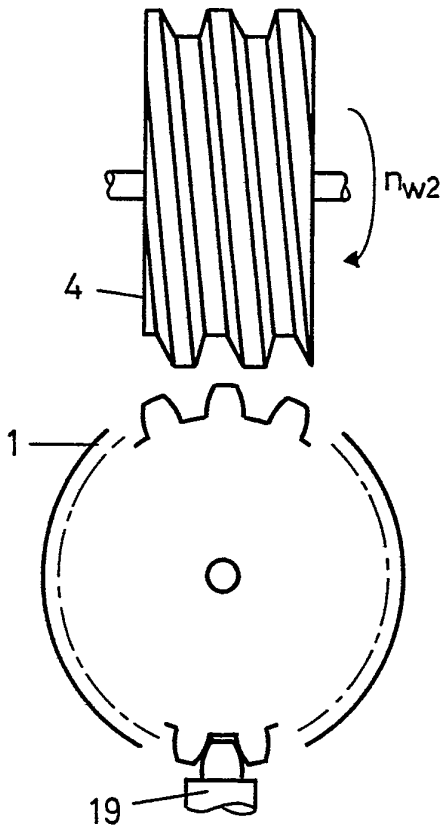


Fig. 4

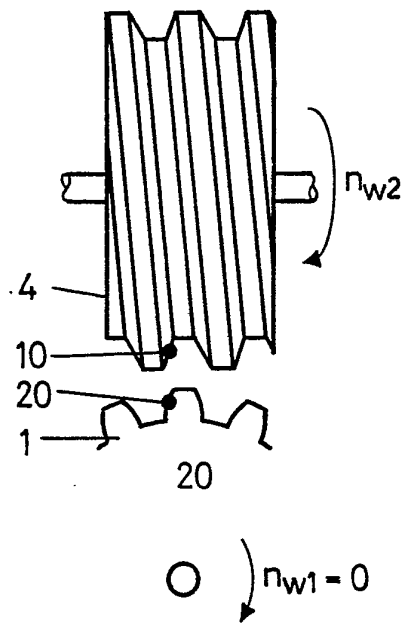


Fig. 5

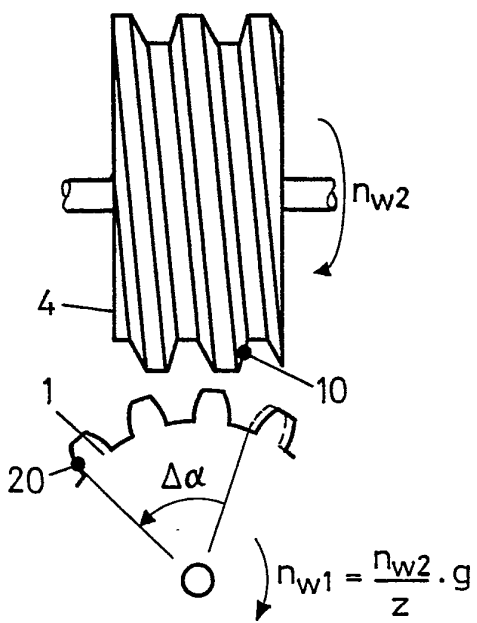


Fig. 6

