



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



Veröffentlichungsnummer: **0 275 876 B1**

12

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

- 49 Veröffentlichungstag der Patentschrift: **05.04.95**      51 Int. Cl.<sup>8</sup>: **B21D 3/16, B24B 39/04**
- 21 Anmeldenummer: **88100107.7**
- 22 Anmeldetag: **07.01.88**

54 **Verfahren und Vorrichtung zum Richten eines Werkstücks.**

30 Priorität: **17.01.87 DE 3701223**

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**27.07.88 Patentblatt 88/30**

45 Bekanntmachung des Hinweises auf die  
Patenterteilung:  
**05.04.95 Patentblatt 95/14**

84 Benannte Vertragsstaaten:  
**DE ES FR GB IT NL SE**

56 Entgegenhaltungen:

<b>DE-A- 3 108 717</b>	<b>DE-A- 3 333 603</b>
<b>DE-B- 1 070 955</b>	<b>DE-C- 1 118 645</b>
<b>FR-A- 2 491 375</b>	<b>GB-A- 957 711</b>
<b>GB-A- 957 712</b>	<b>GB-A- 957 805</b>
<b>GB-A- 1 004 962</b>	<b>US-A- 4 437 328</b>
<b>US-A- 4 485 537</b>	

**PATENT ABSTRACTS OF JAPAN, Band 8, Nr.  
216 (M-329)[1653], 3. Oktober 1984;& JP-A-59  
101 228 (HINO JIDOSHA KOGYO K.K.)  
11-06-1984**

**IDEM**

73 Patentinhaber: **Augustin, Hans-Georg  
Habichtswaldstrasse 11d  
D-34277 Fuldabrück (DE)**

72 Erfinder: **Der Erfinder hat auf seine Nennung  
verzichtet**

74 Vertreter: **Freiherr von Schorlemer, Reinfried  
Karthäuser Strasse 5A  
D-34117 Kassel (DE)**

**EP 0 275 876 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

**Beschreibung**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung gemäß den Oberbegriffen der Ansprüche 1 und 11.

5 Die Dauerfestigkeit von Werkstücken mit kreisförmig umlaufenden Kehlen, z.B. von Kurbelwellen, Achsschenkeln, abgesetzten Wellen od. dgl., ist vor allem durch die verminderte Festigkeit infolge der Formgestalt Werkstoffe im Bereich dieser Kehlen beeinträchtigt. Es ist daher bekannt, derartige Werkstücke mit einem Verfahren zu behandeln, das als "Festwalzen" bezeichnet wird und darin besteht, daß Festwalzen mit hydraulischen Zylinder/Kolbenanordnungen gegen die die Kehlen, insbesondere Hohlkehlen  
10 begrenzenden Kehlenwandungen gedrückt werden (DE-C-30 37 688). Hierdurch wird einerseits die Festigkeit der Werkstoffe in den Außenschichten vergrößert, und andererseits werden in den an die Kehlen grenzenden Zonen nützliche Druckeigenspannungen erzeugt, die sich bei der späteren Anwendung der Werkstücke durch eine beträchtlich erhöhte Dauerfestigkeit bemerkbar machen. Diese zur Erhöhung der Dauerfestigkeit erwünschten, in Werkstoff erzeugten Druckeigenspannungen führen jedoch unvermeidbar zu  
15 Verwerfungen in den Werkstücken, wobei die Richtungen und Beträge der Verwerfungen weitgehend von der Vorgeschichte der Werkstücke abhängen. Bei einer Kurbelwelle haben diese Verwerfungen vor allem Richtungsfehler der Hauptlager- und Kurbelzapfen und damit einen Verzug bzw. "Schlag" der gesamten Kurbelwelle zur Folge, da beim Festwalzen unvermeidliche Abweichungen der senkrechten Lage der Kurbelwangen bezüglich der Zapfenachsen auftreten. Die dadurch bedingten Abweichungen vom Rundlauf der Kurbelwelle bezüglich ihrer theoretischen Drehachse müssen durch nachträgliches Richten der Kurbelwelle unabhängig davon wieder beseitigt werden, ob beim Festwalzen die Abbiegungen der Kurbelwangen in definierten Toleranzbereichen gehalten werden oder nicht.

Das Richten derartiger Werkstücke durch Biegen hat sich als untauglich erwiesen, da die nützlichen Druckeigenspannungen im Bereich der Kehlen beim Biegen weitgehend abgebaut werden, wodurch die  
25 beim Festwalzen erhaltene erhöhte Dauerfestigkeit wieder verloren geht.

Zum Richten von Kurbelwellen, die einem Festwalzvorgang unterworfen wurden, ist es bei Vermeidung dieses Nachteils bereits bekannt, mit einem speziellen Werkzeug an geeigneten Stellen jeweils einmal und mit hinreichender Kraft auf die die Kehlen begrenzenden Wandungen einzuwirken (GB-A-1 004 962, DE-C-2 556 971)

30 Die Richtungen, in denen diese Kräfte auszuüben sind, ergeben sich aus den durch Vermessen der Kurbelwelle nach dem Festwalzen erhaltenen Richtungsabweichungen. Hierbei wird die Erkenntnis ausgenutzt, daß eine über einen begrenzten Bogen des Kehlenumfangs wirksame Kraft ausreichender Größe dazu geeignet ist, bleibende Richtungsänderungen zu bewirken und dadurch den Schlag einer Kurbelwelle zu vermindern. Im Gegensatz zum Biegen werden bei diesem Richtvorgang ausschließlich zusätzliche  
35 Druckspannungen in den Werkstoff eingebracht, welche die Dauerfestigkeit nicht vermindern. Nachteilig ist dagegen, daß eine spezielle Bearbeitungsstation für den Richtprozeß mit einem zusätzlichen Werkzeug einschließlich der hydraulischen Presse benötigt wird und große Kräfte bis zu 1000 kN auf die Kurbelwelle ausgeübt werden müssen.

Die Anwendung geringerer Kräfte ist bei Anwendung bekannter Verfahren und Vorrichtungen nach den  
40 eingangs bezeichneten Gattungen möglich (GB-A-957 805). Dabei wird allerdings in einem ersten, dem Festwalzen dienenden Schritt ein Festwalzen im Bereich der mittleren Hauptlagerzapfen vermieden und die Kurbelwelle in einen, nachfolgenden zweiten Kaltwalzschritt gerichtet, indem gezielt Druck auf die Kehlenwandungen allein der mittleren Hauptlagerzapfen ausgeübt wird. Da dieser zweite Schritt nur dem Richten bzw. der Beseitigung der Exzentrizität der mittleren Hauptlagerzapfen dienen soll, wird der Druck allein in  
45 Abhängigkeit von der zu beseitigenden Exzentrizität gewählt.

Daraus folgt, daß dieser Druck allenfalls zufällig auch zur Herstellung einer ausreichenden Soll-Dauerfestigkeit im Bereich der mittleren Hauptlagerzapfen dienen kann und daß die Kurbelwelle allenfalls zufällig gerade gerichtet wird, da hierzu die Beseitigung der Exzentrizität der mittleren Hauptlagerzapfen in aller Regel nicht ausreicht.

50 Aus JP-A-59 101 228 sind ein Verfahren bzw. eine Vorrichtung zum Richten einer Kurbelwelle bekannt, wobei die Rundlaufabweichungen für jeden einzelnen Hauptlagerzapfen gemessen werden und das Richten durch Kaltwalzen der Kehlenwandungen der Kurbelzapfen mittels in die Kehlen einlegbaren, quer zur theoretischen Achse beweglichen Werkzeugen erfolgt. Den Hauptlagerzapfen sind keine Halterungen zugeordnet.

55 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, das Verfahren und die Vorrichtung der eingangs bezeichneten Gattungen so zu gestalten, daß beim Festwalzschritt im Bereich aller Hauptlager- und Kurbelzapfen die gewünschte Soll-Dauerfestigkeit erhalten und dennoch der Richtprozeß mit geringen Kräften und ohne zusätzliche Werkzeuge durchgeführt werden kann.

Zur Lösung dieser Aufgabe dienen das Verfahren und die Vorrichtung mit den Merkmalen der Ansprüche 1 bzw. 11.

Weitere vorteilhafte Merkmale ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Die Erfindung bringt den Vorteil mit sich, daß das Kaltwalzen zum Zwecke des Richtens in mehreren aufeinander folgenden Schritten erfolgen kann und die bei jedem dieser Schritte ausgeübten Kräfte von bis zu ca. 50 kN erheblich kleiner als bei Anwendung der bekannten Vorrichtung sein können. Dadurch ist es möglich, für das Richten dieselben Vorrichtungen und Werkzeuge zu verwenden, die auch zum Festwalzen eingesetzt werden, ohne daß die Gefahr besteht, daß die Festwalzrollen beim Richtvorgang überlastet werden. Dies ermöglicht gleichzeitig das Festwalzen und Richten der Werkstücke in derselben Bearbeitungsstation, wobei die Werkstücke während der Messung der Rundlauf-Abweichungen im eingespannten Zustand verbleiben können, indem diese Abweichungen z.B. mit in die Festwalzvorrichtung integrierten Meßgeräten ermittelt werden.

Die Erfindung wird nachfolgend in Verbindung mit der beiliegenden Zeichnung an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert. Es zeigen:

- 15 Fig. 1 schematisch ein Schlagdiagramm für eine Kurbelwelle;
- Fig. 2 die Draufsicht auf eine erfindungsgemäße Vorrichtung zum Richten von Werkstücken, insbesondere Kurbelwellen;
- Fig. 3 einen Schnitt längs der Linie III-III der Fig. 2;
- Fig. 4 eine schematische, teilweise Vorderansicht der Vorrichtung nach Fig. 1 in starker Vergrößerung;
- 20 Fig. 5 eine Variante für eine Einzelheit der Fig. 3; und
- Fig. 6 schematisch die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens auf einen Hauptlagerzapfen einer Kurbelwelle.

Fig. 1 zeigt ein Werkstück 1 in Form einer Kurbelwelle. Diese weist fünf Hauptlagerzapfen 2a bis 2e, deren Achsen auf einer theoretischen Achse 3, hier der Drehachse der Kurbelwelle, liegen, vier zwischen den Hauptlagerzapfen 2 angeordnete Kurbelzapfen 4a bis 4d und zwischen diesen und den Hauptlagerzapfen 2 je eine Kurbelwange 5 auf. An den Übergangsstellen zwischen den Kurbelwangen 5 und den Hauptlager- bzw. Kurbelzapfen 2 bzw. 4 sind jeweils um die Achse 3 umlaufende Kehlen 6a bis 6d mit kreisförmigen Querschnitten vorgesehen. Alternativ können die Werkstücke 1 aus Achsschenkeln, abgesetzten Wellen od. dgl. mit den Kehlen 6 entsprechenden Kehlen bestehen, die in der Regel an den Übergängen von einem Querschnitt auf einen anderen angeordnet sind und dazu dienen, die bei ihrem Fehlen zu geringe Dauerfestigkeit im Bereich der Querschnittsübergänge zu vergrößern.

Oberhalb des Werkstücks 1 ist in Fig. 1 ein Schlagdiagramm dargestellt, das eine willkürlich angenommene Krümmung der Kurbelwelle in der Zeichenebene in stark vergrößertem Maßstab andeutet. Längs der Abszisse sind die Abstände 1 der jeweiligen Mittelpunkte der Hauptlagerzapfen 2 von dem in Fig. 1 linken Ende der Kurbelwelle angetragen, während längs der Ordinate die jeweilige Abweichung  $\underline{S}$  dieser Mittelpunkte von der theoretischen Achse 3 in starker Vergrößerung angetragen ist. Die tatsächlich auftretenden Abweichungen  $\underline{S}$  sind in der Regel sehr klein, betragen nur einige Zehntel oder Hundertstel Millimeter und können jeweils sowohl positiv als auch negativ sein. Das Schlagdiagramm nach Fig. 1 bezieht sich außerdem auf eine ausgewählte Drehwinkelstellung der Kurbelwelle. Für andere Drehwinkelstellungen können entsprechende Schlagdiagramme gezeichnet werden.

Aus dem Schlagdiagramm läßt sich leicht ablesen, um welches Maß und in welche Richtung die Kurbelwelle an jedem Hauptlagerzapfen 2 gerichtet werden muß, um zu erreichen, daß alle Achsen der Hauptlagerzapfen 2 im wesentlichen in einer Achse, nämlich der theoretischen Achse 3 liegen. Für den Hauptlagerzapfen 2b nach Fig. 1 wäre beispielsweise ein Richtmaß von  $\Delta S_2$  senkrecht zur Abszisse erforderlich, das sich nach der Formel

$$\Delta S_2 = S_2 - S_1 - \left( \frac{|S_1 - S_3|}{l_2 + l_3} \right) \cdot l_2$$

errechnet.

Da es sehr mühsam ist, eine Kurbelwelle nacheinander in alle möglichen Richtungen zu richten, wird erfindungsgemäß folgende neue Richtstrategie vorgeschlagen:

Es wird zunächst jede Abweichung vom Rundlauf in zwei zueinander senkrechte Komponenten zerlegt, von denen die eine in einer als Hauptebene bezeichneten Ebene und die andere in einer als Nebenebene bezeichneten Ebene liegt. Liegen alle Kurbelzapfen 4b bis 4c entsprechend Fig. 1 in einer einzigen, auch die theoretische Achse 3 enthaltenden Ebene, so wird diese zur Hauptebene erklärt, während die dazu

senkrechte Ebene als Nebenebene definiert wird. Liegen dagegen die Kurbelzapfen 4a bis 4d abweichend von Fig. 1 in wenigstens zwei unterschiedlichen Ebenen, indem sie beispielsweise in Umfangsrichtung der Kurbelwelle um jeweils  $90^\circ$  versetzt angeordnet sind, dann wird für jeden Hauptlagerzapfen 2b, 2c und 2d, der nach Fig. 1 zwischen zwei benachbarten Kurbelzapfen 4 liegt, diejenige Ebene zur Hauptebene erklärt, welche die Achse 3 und die Winkelhalbierende zwischen den beiden Ebenen enthält, die durch die Achse je eines der benachbarten Kurbelzapfen und die theoretische Achse 3 verlaufen. Mit Bezug auf Fig. 1 definieren beispielsweise die Achse des Kurbelzapfens 4b und die Achse 3 eine erste Ebene, die Achse des Kurbelzapfens 4c und die Achse 3 eine zweite Ebene und die Winkelhalbierende zwischen diesen beiden Ebenen und die Achse 3 eine dritte Ebene, die in diesem Beispiel die Hauptebene für den Hauptlagerzapfen 2c wäre. Die dazu senkrechte Ebene ist die Nebenebene für diesen Hauptlagerzapfen 2c. Dagegen ergibt sich die Hauptebene für die an den Enden der Kurbelwelle befindlichen Hauptlagerzapfen 2a und 2e, denen jeweils nur ein Kurbelzapfen 4a bzw. 4d benachbart ist, aus der Achse 3 und den Achsen dieser Kurbelzapfen 4a bzw. 4d, während die dazu senkrechten Ebenen jeweils die Nebenebenen sind.

Die Erfindung beruht insoweit auf dem Erkenntnis, daß Richtoperationen in den Nebenebenen im allgemeinen auch Verformungen der Kurbelwelle in den Hauptebenen zur Folge haben, während umgekehrt Richtoperationen in den Hauptebenen praktisch keine Rückwirkungen bzw. Verformungen in den Nebenebenen verursachen. Daraus resultiert die erfindungsgemäße Richtstrategie, zunächst alle in den Nebenebenen liegenden Komponenten eines Schlags und erst danach alle in den Hauptebenen liegenden Komponenten des Schlags zu beseitigen.

Für die praktische Anwendung ergibt sich dabei der folgende Ablaufplan. Nach dem Festwalzen der Werkstücke wird zunächst die Abweichung vom Rundlauf für jeden einzelnen Hauptlagerzapfen gemessen. Sodann werden die Komponenten der Abweichungen in den Haupt- und Nebenebenen ermittelt. Liegen diese Werte außerhalb vorgegebener Toleranzbereiche, wird anschließend zunächst für jeden einzelnen Hauptlagerzapfen das Richtmaß  $\Delta S_n$  berechnet, um das ein Richten in der Nebenebene erfolgen muß. Die Kurbelwelle wird nun in den Nebenebenen gerichtet, wobei alle oder mehrere Hauptlagerzapfen gleichzeitig oder auch nacheinander bearbeitet werden. Die Richtoperationen werden dabei vorzugsweise in mehreren aufeinanderfolgenden Schritten durchgeführt, wobei nach jedem Schritt die noch verbleibenden Abweichungen gemessen und der nachfolgende Schritt mit korrigierten Richtparametern durchgeführt wird. Unter korrigierten Richtparametern wird dabei insbesondere verstanden, daß die Größe der Kraft, die zur Herbeiführung des noch verbleibenden Richtmaßes  $\Delta S_n$  benötigt wird, in Abhängigkeit von der Vorgesichte der Kurbelwelle und vor allem in Abhängigkeit davon verändert wird, welche Kräfte in vorhergehenden Schritten auf die Hauptlagerzapfen ausgeübt wurden. Insbesondere wird, wenn eine bestimmte Richtkraft in einem ersten Schritt nicht ausgereicht hat, um das erwünschte Richtmaß herbeizuführen, in einem nachfolgenden Schritt eine höhere Richtkraft gewählt. Werden die bei vorhergehenden Richtoperationen angewandten Richtparameter nicht berücksichtigt, ist ein vernünftiges Richten wegen der sich ändernden Abhängigkeit zwischen Richtmaß und Richtkraft kaum möglich. Die Abhängigkeiten der erzielbaren Richtmaße von den aufgewandten Richtkräften ist empirisch zu ermitteln.

Die jeweils erhaltenen Werte können gesammelt und in einer Datenbank gespeichert werden, die bei statistischer Handhabung als Wertetabelle für die jeweils aufzuwendenden Richtkräfte dienen kann. Zur Berechnung der Richtkräfte wird daher vorzugsweise eine Datenverarbeitungsanlage verwendet, in deren Speicher alle einen bestimmten Werkstücktyp betreffenden Daten gesammelt werden.

Sind alle in den Nebenebenen liegenden Komponenten der Rundlauf-Abweichungen so weit beseitigt, daß die verbleibenden Abweichungen in den geforderten Toleranzbereichen liegen, wird das Werkstück in den Hauptebenen gerichtet, indem auf entsprechende Weise die in der Hauptebene liegenden Richtmaße  $\Delta S_h$  berechnet und empirisch ermittelte oder aus der Datenbank abgerufene Werte für die jeweiligen Richtkräfte bestimmt werden. Auch diese Richtoperationen in der Hauptebene erfolgen vorzugsweise sukzessiv in einer Mehrzahl von aufeinanderfolgenden Schritten, bis schließlich die verbleibenden Abweichungen für alle Hauptlagerzapfen innerhalb der festgelegten Toleranzbereiche liegen.

Die Erfindung geht schließlich auch von dem Erkenntnis aus, daß das Richten durch Kaltwalzen und daher beispielsweise mit Hilfe von in die Kehlen der Hauptlagerzapfen 2 eingelegten Druckrollen erfolgen kann, indem mit diesen ein ausreichender Druck auf ausgewählte Umfangsabschnitte der die Kehlen begrenzenden Wandungen ausgeübt wird. Dazu wird die Kurbelwelle kontinuierlich oder mit einer Pendelbewegung gedreht oder die jeweilige Druckrolle in einer kontinuierlichen oder hin- und herpendelnden Bewegung um die Kurbelwelle bzw. deren theoretische Achse herumgeführt. Dabei ist lediglich erforderlich, diejenigen Kräfte, die von den Druckrollen auf die Kurbelwelle ausgeübt werden, in Abhängigkeit von der jeweiligen Drehwinkelstellung der Kurbelwelle bezüglich der Druckrolle derart zu variieren, daß eine Richtwirkung nur in der erforderlichen Richtung, d.h. beim Auflaufen der Druckrollen auf die vorgewählten Abschnitte erzielt wird, während in allen anderen Richtungen keine zur Erzielung einer Richtwirkung

ausreichenden Kräfte von den Druckrollen ausgeübt werden.

Zur praktischen Durchführung des Richtens durch Kaltwalzen eignen sich vorzugsweise die an sich bekannten Vorrichtungen zum Festwalzen von Kurbelwellen (DE-C-30 37 688), sofern an diesen gewisse Änderungen vorgenommen werden. Eine für die Zwecke der Erfindung geeignete Vorrichtung dieser Art wird nachfolgend anhand der Fig. 2 bis 6 und anhand eines Werkstücks 1 näher erläutert, das aus einer Kurbelwelle mit nur zwei Kurbelzapfen 4a,b und drei Hauptlagerzapfen 2a,b,c besteht.

Die Vorrichtung enthält nach Fig. 2 bis 4 zwei in einem Gestell 7 drehbar gelagerte und übereinander angeordnete Meisterwellen 8a und 8b, die in Größe und Form mit dem zu bearbeitenden Werkstück 1 übereinstimmen und im dargestellten Beispiel entsprechend viele Hauptlagerzapfen 10a und 10b, Kurbelzapfen 11a und 11b sowie Kurbelwangen 12a und 12b aufweisen. Beide Meisterwellen 8a,b sind synchron durch einen am Gestell 7 montierten Motor 13 antreibbar, auf dessen Antriebswelle ein Zahnrad 14 befestigt ist. Das Zahnrad 14 ist mit einem auf der Meisterwelle 8a befestigten Zahnrad 15 verbunden, das über ein weiteres Zahnrad 16 mit einem auf der Meisterwelle 8b befestigten Zahnrad 17 in Verbindung steht, so daß beim Einschalten des Motors 13 beide Meisterwellen in derselben Richtung angetrieben werden.

Jeder Hauptlager- und Kurbelzapfen 10 bzw. 11 ist jeweils in einer unteren Backe 18 bzw. 19 einer zangenartigen Halterung für das Werkstück 1 drehbar gelagert. Jede Backe 18 bzw. 19 ist mittels eines Schwenkzapfens 20 (Fig. 2) mit einer oberen Backe 21 bzw. 22 der Halterung schwenkbar verbunden. An ihrem Vorderende tragen die beiden Backen 18,21 bzw. 19,22 jeweils ein Walzwerkzeug. Dieses weist jeweils zwei in der unteren Backe 18 bzw. 19 drehbar gelagerte und parallel angeordnete, zylindrische Stützrollen 23 und eine in der oberen Backe 21 bzw. 22 gelagerte, an sich bekannte Kombination aus einer Profilrolle 24 und zwei Druckoder Festwalzrollen 25 auf (vgl. Fig. 3 und 4). Dabei schließen die Drehachsen der Druckrollen 25 und die Achse 3 des Werkstücks 1 bzw. die dazu parallelen Drehachsen der Profilrollen 24 in der Regel einen Winkel von ca. 35° ein. Außerdem stützen sich die Druckrollen 25 in Umfangsrillen 26 ab, die einen kreisförmigen Querschnitt besitzen und an den stirnseitigen Enden der Profilrolle 24 ausgebildet sind. Die Profilrolle 24 ist auf einer im Gestell 7 befestigten Welle 27 drehbar gelagert, während die Festwalzrollen 25 in Käfigen fliegend an der Profilrolle 24 gelagert sind.

Jeder zangenartigen Halterung ist je eine Steuereinrichtung zugeordnet, wobei in Fig. 3 nur die Steuereinrichtung für die Halterung des Hauptlagerzapfens 2c dargestellt ist. Dabei ist allerdings das aus den Teilen 23 bis 25 bestehende Walzwerkzeug für die Halterung des Hauptlagerzapfens 2c zur Vereinfachung der zeichnerischen Darstellung nur in Fig. 4, nicht aber auch in Fig. 3 sichtbar. Die Steuereinrichtung enthält je einen am Hinterende der zugehörigen unteren Backe 18 befestigten hydraulischen oder pneumatischen Zylinder 28, in dem ein Kolben 29 gleitend gelagert ist, der eine an der oberen Backe 21 angelenkte Kolbenstange 30 trägt, so daß die obere Backe 21 durch Ein- bzw. Ausfahren der Kolbenstange 30 um den Schwenkzapfen 20 verschwenkt werden kann. Die auf beiden Seiten des Kolbens 29 liegenden Kammern des Zylinders 28 können über Leitungen 31,32 und ein Wegeventil 33 wahlweise mit einer zu einem Tank 34 führenden Leitung 35 oder einer weiteren Leitung 36 verbunden werden. Die Leitung 36 führt zu einem Ausgang eines Stellglieds 37, z.B. eines weiteren Wegeventils, das gleichzeitig als Drucksteuerventil ausgebildet ist und einen zweiten, abgesperrten Ausgang besitzt. Eine mit dem einen Eingang des Stellglieds 37 verbundene Leitung 38 ist entweder über ein Begrenzungsventil 39 mit dem einen Ausgang oder über ein weiteres Begrenzungsventil 40 mit dem anderen Ausgang eines weiteren Wegeventils 41 verbunden, dessen einer Eingang abgesperrt ist und dessen anderer Eingang an den Ausgang einer von einem Motor 42 angetriebenen Pumpe 43 für das hydraulische oder pneumatische Medium, z.B. Öl, angeschlossen ist. Der Ausgang dieser Pumpe 43 ist außerdem mit einem Begrenzungsventil 44 verbunden, das über eine Leitung 45 mit dem Tank 34 verbunden ist. Schließlich ist der Ausgang der Pumpe 43 noch über ein Begrenzungsventil 46 mit dem anderen Eingang des Stellglieds 37 verbunden.

Die Wegeventile 33 und 41 sind beispielsweise mit üblichen Schaltmagneten 33a und 41a versehen, während dem Stellglied 37 ein Steuerorgan 37a zugeordnet ist, das ebenfalls aus einem Schaltmagneten bestehen kann. Die Schaltmagneten 33a, 41a und das Steuerorgan 37a sind mit einer Ablaufsteuerung 47 verbunden, und das Steuerorgan 37a führt außerdem zum Ausgang eines Leistungsverstärkers 48c. Außerdem kann jedes Wegeventil 33 und 41 zwei Stellungen a und b einnehmen, wobei die Stellung a die durch eine Druckfeder 33b,41b hergestellte Grundstellung ist, während die andere Stellung b dadurch hergestellt wird, daß der zugehörige Schaltmagnet 33a, 41a über die Ablaufsteuerung 47 entsprechend erregt wird. Das Stellglied 37 kann ebenfalls zwei Stellungen a und b einnehmen, wobei die Stellung b durch Zuführung eines Steuersignals zum Steuerorgan 37a von der Ablaufsteuerung 47 oder vom zugehörigen Leistungsverstärker 48c aus hergestellt wird, während die andere Stellung a die durch eine Druckfeder 37b hergestellte Grundstellung ist. Außerdem kann das Stellglied 37 durch ein analoges Signal vom zugehörigen Leistungsverstärker 48c aus so gesteuert werden, daß es irgendeine beliebige Zwischenstel-

lung zwischen den beiden Stellungen a und b einnimmt, in welcher der Druck an seinem einzigen offenen Ausgang einen Wert annimmt, der von den Drucken an seinen beiden Eingängen und auch davon abhängt, mit welchen Anteilen die durch Pfeile angedeuteten Durchgänge gerade am Durchlaß des Druckmediums beteiligt sind. Anstelle des dargestellten Wegeventils können auch alle anderen Bauelemente für das Stellglied 47 verwendet werden, mittels derer - gesteuert durch elektrische Signale od. dgl. - der Druck in der Leitung 36 stufenlos zwischen einem minimalen und einem maximalen Wert verstellt werden kann. Zum Messen des Schlags bzw. der Verbiegung des zu bearbeitenden Werkstücks 1 weist die Steuereinrichtung ein am Gestell 7 befestigtes Meßorgan 49 auf (Fig. 3). Das Meßorgan 49 besteht beispielsweise aus einem handelsüblichen Weggeber mit einem Stößel 50, der durch eine Druckfeder 51 gegen den Hauptlagerzapfen 2c gedrückt wird. In Abhängigkeit von der jeweiligen Stellung dieses Stößels 50 erscheint am Ausgang des Meßorgans 49 ein elektrisches Signal, das einem dem Hauptlagerzapfen 2c zugeordneten Meßverstärker 52c zugeführt wird. Alternativ können auch rein induktive, berührungslos arbeitende Weggeber verwendet werden, um die Abweichungen der Hauptlagerzapfen vom Rundlauf zu messen. Außerdem kann zur Überwachung der Kräfte, die mit der oberen Backe 21 auf die zugehörige Druckrolle 25 bzw. das Werkstück 1 ausgeübt werden, ein Kraftmesser 53 vorgesehen sein, der beispielsweise aus einem mit der Backe 21 verbundenen Dehnungsmeßstreifen besteht und an seinem Ausgang ein elektrisches Signal abgibt, das ebenfalls dem Meßverstärker 52c zugeführt wird.

Die Steuereinrichtungen für die anderen Hauptlagerzapfen 2a und 2b sind entsprechend ausgebildet und mit entsprechenden Meßverstärkern 52a,b bzw. Leistungsverstärkern 48a,b (Fig. 3) versehen. Weitere, ähnlich aufgebaute Steuereinrichtungen können den Halterungen für die Kurbelzapfen 4a,b zugeordnet sein, wobei allerdings nur die zum Festwalzen, nicht aber auch die zum Richten benötigten Teile vorgesehen werden brauchen.

Zur Messung der jeweiligen Winkelstellung der Meisterwellen 8a,b ist wenigstens eine von diesen mit einem Anzeigeorgan 54 (Fig. 1), z.B. einem Drehgeber, verbunden, der aus einem üblichen Winkelcodierer bestehen kann und dessen Ausgangssignale einem Verstärker 55 zugeführt werden. Die Ausgangssignale der Meßverstärker 52 und des Verstärkers 55 werden über ein Leitungsbündel 56 einer Datenverarbeitungsanlage 57 und von dort über ein weiteres Leitungsbündel 58 den Leistungsverstärkern 48a,b,c zugeführt. Dem Rechner 57 kann schließlich ein nicht näher dargestellter Datenspeicher 59 zugeordnet werden.

Die beschriebene Vorrichtung arbeitet wie folgt:

In einem ersten Bearbeitungsschritt soll das Werkstück 1, d.h. die in Fig. 1 bis 4 dargestellte Kurbelwelle, beispielsweise einem üblichen Festwalzvorgang unterworfen werden. Dazu werden, ausgehend von den Grundstellungen a Wegeventile 33 und 41 und der Stellglieder 37 nach Fig. 3, zunächst mittels der Ablaufsteuerung 47, die mit entsprechenden Schaltern versehen ist oder automatisch gesteuert werden kann, die Wegeventile 33 in die Stellung b gesteuert, indem die zugehörigen Schaltmagnete entsprechend erregt werden. Dadurch sind die Leitungen 31 mit dem Tank 34 und die Leitungen 32 mit den Leitungen 36 verbunden, die über die Stellglieder 37 und die Begrenzungsventile 46 zur Pumpe 43 führen.

Beim Einschalten des Motors 42 werden daher die Kolbenstangen 30 in die Zylinder 28 gezogen und dadurch die zangenartigen Halterungen geöffnet.

Die zu bearbeitende Kurbelwelle wird nun in die Halterung eingelegt, indem ihre Hauptlager- bzw. Kurbelzapfen 2 bzw. 4 jeweils auf die Stützrollen 23 der zugehörigen unteren Backen 18 bzw. 19 aufgelegt werden, was wegen der entsprechenden Form der Meisterwellen 8a,b ohne weiteres möglich ist (vgl. insbesondere Fig. 2). Anschließend werden die Wegeventile 33 durch Entregnen der zugehörigen Schaltmagnete in die Grundstellung a zurückgeführt und gleichzeitig die Stellglieder 37 mittels der Ablaufsteuerung 47 in die Stellung b gebracht. Dadurch sind die Leitungen 32 mit dem Tank 43 und die Leitungen 31 über die Begrenzungsventile 39 mit der Pumpe 43 verbunden. Beim Einschalten des Motors 42 werden daher die Kolbenstangen 30 ausgefahren und die zangenartigen Halterungen mit einem Druck, der durch die Begrenzungsventile 39 vorgegeben ist, geschlossen. Durch Einschalten des Motors 13 werden nun die beiden Meisterwellen 8a,b in Umdrehungen versetzt und dadurch die auf ihren Kurbelzapfen 11a,b sitzenden Backen 19 und 22 in eine kreisende Umlaufbewegung versetzt, die sich entsprechend auf die Kurbelzapfen 4a,b der zu bearbeitenden Kurbelwelle überträgt. Dies wiederum hat zur Folge, daß die Druckrollen 25 in den Kehlen der Kurbelzapfen 4a,b und der Hauptlagerzapfen 2a,b,c abrollen und den erwünschten Festwalzprozeß bewirken. Die Kraft, mit der die Druckrollen 25 auf die Kehlenwandungen einwirken, kann mit den Begrenzungsventilen 39 von Hand oder auch automatisch eingestellt werden.

Nach Beendigung des Festwalzvorgangs werden der Motor 13 abgeschaltet und die zangenartigen Halterungen durch entsprechende Steuerung wieder geöffnet. Die bearbeitete Kurbelwelle kann nun herausgenommen und auf jede beliebige Art und in an sich bekannter Weise vermessen werden, um die nach dem Festwalzprozeß vorhandenen Abweichungen, die Richtmaße  $\Delta S_n$  und  $\Delta S_h$  und die erforderli-

chen Richtkräfte zu ermitteln.

Das Vermessen des Werkstücks 1 erfolgt bei Anwendung der beschriebenen Vorrichtung vorzugsweise dadurch, daß es in den zangenartigen Halterungen eingespannt bleibt und mit den Meßorganen 49 abgetastet wird. Damit dabei keine großen Kräfte von den Druckrollen 25 ausgeübt werden, werden die Wegeventile 33 und 41 in der Grundstellung a gelassen, während das Stellglied 37 mittels der Ablaufsteuerung 47 in die Stellung b gesteuert wird. Dadurch ist jetzt die Leitung 31 über das Begrenzungsventil 46 mit der Pumpe 43 verbunden, das auf einen kleineren Druck als das Begrenzungsventil 39 eingestellt ist. Nach erneutem Einschalten des Motors 13 führt die zu bearbeitende Kurbelwelle wiederum ihre charakteristische Drehbewegung aus. Gleichzeitig werden die Meßorgane 49 aktiviert, wodurch die von ihnen gemessenen Signale über die Meßverstärker 52 und das Leitungsbündel 56 der Datenverarbeitungsanlage 57 zugeführt werden, der außerdem ständig die Ausgangssignale des Anzeigeorgans 54 zugeführt werden. Die Datenverarbeitungsanlage 57 ermittelt nun anhand eines vorher eingegebenen Programms und anhand der laufend zugeführten Daten der Meßorgane 49 und des Anzeigeorgans 54 zunächst die jeweilige Größe und die jeweilige Richtung der Rundlaufabweichungen für alle Hauptlagerzapfen 2a,2b und 2c und errechnet daran anschließend die Richtmaße  $\Delta S_n$  und  $\Delta S_h$  sowie die von den Druckrollen 25 auf die Hauptlagerzapfen 2a,b,c auszuübenden Richtkräfte, wobei alle in der Datenbank 59 gespeicherten und gleichartige Werkstücktypen betreffende Werte und Abhängigkeiten berücksichtigt werden können. Abschließend rechnet die Datenverarbeitungsanlage 57 die ermittelten Richtkräfte in analoge Stellsignale für die Steuerorgane 37a der Stellglieder 37 um.

Abschließend erfolgt der eigentliche Richtprozeß. Hierzu verbleibt die zu bearbeitende Kurbelwelle in den zangenartigen Halterungen, während die Wegeventile 33 und die Stellglieder 37 in ihre Grundstellung a gesteuert werden. Das Wegeventil 41 wird dagegen in die Stellung b überführt.

Durch Einschalten der Motoren 13 und 42 wird die zu bearbeitende Kurbelwelle wieder in ihre charakteristische Umlaufbewegung versetzt, während gleichzeitig die Leitungen 31 zunächst nur über die Begrenzungsventile 46 mit der Pumpe 43 verbunden sind. Unter der Steuerung des Anzeigeorgans 54, das mit den Meisterwellen 8a,b ständig rotiert, übermittelt die Datenverarbeitungsanlage im weiteren Verlauf ständig Steuersignale, die über das Leitungsbündel 58 und die Leistungsverstärker 48a,b,c den Steuerorganen 37a zugeführt werden. Infolgedessen werden deren Ventilschäfte entsprechend den berechneten Richtkräften mehr oder weniger in Richtung der Stellungen b verschoben, was zur Folge hat, daß in den Leitungen 36 Drucke erzeugt werden, die zwischen dem Minimalwert des Begrenzungsventils 46 und dem Maximalwert des Begrenzungsventils 40 liegen können. Mit Hilfe des Anzeigeorgans 54 und der Datenverarbeitungsanlage 57 werden diese außerdem so gesteuert, daß zunächst an allen Hauptlagerzapfen nur Richtoperationen in den Nebenebenen durchgeführt werden. Vorzugsweise werden diese Richtoperationen für mehrere oder alle Hauptlagerzapfen gleichzeitig oder nacheinander und entsprechend der obigen Beschreibung in mehreren aufeinanderfolgenden Schritten durchgeführt, zwischen denen die Kurbelwelle erneut vermessen wird, damit die erhaltenen Daten in der Datenbank 59 abgespeichert und dann neue Richtparameter für den jeweils nächsten Schritt errechnet werden können. Nachdem die Richtoperationen in der Nebenebene abgeschlossen sind und nicht tolerierbare Abweichungen vom Rundlauf nur noch in der Hauptebene vorliegen, werden auf dieselbe Weise weitere Richtoperationen durchgeführt, um auch die in der Hauptebene vorhandenen Abweichungen vom Rundlauf ausreichend klein zu machen. Dabei ergibt sich der Vorteil, daß die Richtung, in welche eine Richtoperation an irgendeinem Hauptlagerzapfen durchgeführt wird, allein dadurch vorgewählt werden kann, daß die zugehörigen Stellglieder 37 im richtigen Augenblick ausreichend große Drucke in den Leitungen 36 zur Verfügung stellen, während zu allen übrigen Zeitpunkten der Druck in den Leitungen 36 auf einen Druck abgesenkt wird, der keine Richtoperation bewirken kann. Da außerdem jeder einzelne Hauptlagerzapfen 2a,b,c mit einer eigenen Halterung und einer eigenen Steuereinrichtung versehen ist, können die verschiedenen Richtoperationen in einem einzigen Arbeitsgang selbst dann durchgeführt werden, wenn allen Hauptlagerzapfen unterschiedliche Haupt- und Nebenebenen zugeordnet sind.

Bei allen möglichen Bearbeitungssituationen wird schließlich am Begrenzungsventil 44 der maximale Systemdruck dargestellt, um das Auftreten von kritischen Überdrucken zu vermeiden. Außerdem ist es mit Hilfe der Kraftmesser 53 möglich, die tatsächlich auf die Druckrollen 25 ausgeübten Kräfte ständig zu überwachen und bei Bedarf Regelschaltungen für die Zylinder 28 vorzusehen, damit die von der Datenverarbeitungsanlage 57 berechneten Richtkräfte auch tatsächlich auf die Werkstücke 1 bzw. die Hauptlagerzapfen 2 ausgeübt werden.

Ist die Anwendung einer Datenverarbeitungsanlage nicht erwünscht, können die den Zylindern 28 zugeführten Drucke während des Richtens auch dadurch erzeugt werden, daß jedes Stellglied 37 mit einer schematisch in Fig. 5 dargestellten Einrichtung gesteuert wird. Diese Einrichtung enthält anstelle des Schaltmagneten eine mit dem Ventilschaft des Stellglieds 37 verbundene Hülse 60, in der ein Stößel 61

verschiebbar geführt ist. Die Hülse 60 weist einen senkrecht abstehenden Arm 62 und der Stößel 61 einen senkrecht abstehenden, durch einen Schlitz in der Hülsenwand ragenden Arm 63 auf. In dem Arm 63 ist eine Einstellschraube 64 drehbar, jedoch axial unverschieblich gelagert, deren Gewindeabschnitt durch eine Gewindebohrung des Arms 62 ragt. Daher kann durch Drehen der Einstellschraube der Abstand des aus der Hülse 60 herausragenden Endes 65 des Stößels 61 vom Ventilschaft verändert werden.

Das freie Ende des Stößels 61 wird durch eine auf den Ventilschaft wirkende Druckfeder 37b gegen das Steuerorgan in Form einer Kurvenscheibe 67 gedrückt, die beispielsweise an einem freien Ende der Meisterwelle 8a befestigt ist und deren Drehbewegungen mitmacht. Je nachdem, welcher Umfangsabschnitt der Kurvenscheibe 67 auf das Ende 65 einwirkt, wird wie bei der anhand Fig. 3 beschriebenen Ausführungsform eine größere oder kleinere Kraft auf die Druckrolle 25 ausgeübt. Die Kurvenscheibe 67 wird mittels einer Befestigungsschraube 68 auf der Meisterwelle 8a befestigt und nimmt dann relativ zu dieser und damit auch zu der zu richtenden Kurbelwelle stets dieselbe Drehwinkelstellung ein. Dabei werden in Abhängigkeit von den erforderlichen Richtkräften bei Bedarf für das Richten in den Neben- und Hauptebenen unterschiedliche Kurvenscheiben 67 eingesetzt, die außerdem entsprechend den Richtungen, in denen die Richtkräfte wirksam gemacht werden sollen, durch Verdrehen auf der Welle 8a genau eingestellt werden. Durch Drehen der Einstellschrauben 64 kann jeweils die Größe der maximalen Richtkraft verändert werden.

Für das Richten irgendeines in Fig. 6 schematisch dargestellten Hauptlagerzapfens 2 wäre es an sich nur erforderlich, die Richtkraft ein einziges Mal längs einer gedachten, parallel zur theoretischen Achse 3 erstreckten Linie auf den Umfang des Hauptlagerzapfens 2 auszuüben, wobei diese Linie in der Verlängerung eines Pfeils  $v$  liegt, der die Richtung der Richtoperation andeutet. Die dabei aufzuwendenden Richtkräfte wären allerdings sehr groß. Beim Richten durch Kaltwalzen hat sich dagegen überraschend erwiesen, daß wesentlich kleinere Richtkräfte von z.B. bis 50 kN ausreichen, wenn diese längs eines ausgewählten Abschnitts 69 ausgeübt werden, der in Fig. 6 durch eine verbreiterte Linie schematisch angedeutet ist, und wenn dieser ausgewählte Abschnitt 69 mehrmals mit der Druckrolle 25 überwalzt wird. Der Abschnitt 69 erstreckt sich längs des Umfangs des Hauptlagerzapfens 2 etwa um gleiche Teile zu beiden Seiten der gedachten Linie über einen Bogen von insgesamt beispielsweise  $10^\circ$  bis  $20^\circ$ . Um Eindrückungen der Druckrolle 25 im Hauptlagerzapfen 2 zu vermeiden, wird der auf den Zylinder 28 wirkende Druck zweckmäßig jeweils vor dem Auflaufen der Druckrolle 25 auf den ausgewählten Abschnitt 69 allmählich bis zu einem Höchstwert erhöht, dann längs des Abschnitts 69 auf diesem Höchstwert gehalten und schließlich nach dem Verlassen des Abschnitts 69 allmählich verkleinert. Bei Anwendung der Datenverarbeitungsanlage 57 kann diese Druckvergrößerung und -verminderung durch entsprechende Programme vorgegeben werden. Bei Anwendung der Kurvenscheibe 67 nach Fig. 5 erfolgt diese Steuerung dadurch, daß deren Umfang mit einem etwa kreisförmigen Abschnitt 70, einem ansteigenden Abschnitt 71, einem weiteren kreisförmigen Abschnitt 72 und einem abfallenden Abschnitt 73 versehen wird, wobei der Abschnitt 72 demjenigen Abschnitt des Hauptlagerzapfens 2 entspricht, längs dessen die Druckrolle 25 die für die Richtoperation erforderliche Richtkraft ausübt. Ist es bei dieser Art der Steuerung erwünscht, die für einen Umlauf der zu bearbeitenden Kurbelwelle erforderliche Zeit zu reduzieren, braucht lediglich der Motor 13 immer dann, wenn sich die Druckrolle 25 nicht auf dem ausgewählten Abschnitt 69 befindet, in eine höhere Drehzahlstufe eingestellt werden.

Alternativ kann die Richtoperation auch dadurch ausgeübt werden, daß die Meisterwellen 8a,b und die zu richtende Kurbelwelle einer hin- und hergehenden Pendelbewegung derart unterworfen werden, daß die Druckrollen 25 stets nur die vorgewählten Abschnitte 69 und schmale Nachbarabschnitte überlaufen. Auch in diesem Fall wird der auf die Druckrollen 25 wirksame Druck in den Nachbarbereichen zweckmäßig allmählich erhöht bzw. erniedrigt. Auch bei dieser Ausführungsform können wahlweise die Datenverarbeitungsanlage 57 oder die Kurvenscheiben 67 benutzt werden. Als Motor 13 wird in diesem Fall zweckmäßig ein Reversiermotor mit einer entsprechenden Steuerung verwendet.

Ein weiterer wichtiger Parameter beim Richten durch Kaltwalzen ist die Anzahl der Überwalzungen der ausgewählten Abschnitte 69. Da es beim Überwalzen, d.h. beim Einwirken der Druckrollen 25 auf die ausgewählten Abschnitte 69 zu einer Fließbehinderung in Richtung der Böden der Kehlen 6 kommen kann, was sich erst durch mehrmaliges Überwalzen kompensieren läßt, werden die Druckrollen zweckmäßig wenigstens fünf-, vorzugsweise wenigstens zehnmal über den ausgewählten Abschnitt 69 geführt.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Festwalzen und anschließenden Richten einer um ihre theoretische Achse drehbar gelagerten Kurbelwelle (1), die eine Anzahl Hauptlagerzapfen (2), von dazwischen liegenden Kurbelwangen (5) und Kurbelzapfen (4a bis 4d) und von um die Hauptlagerzapfenachsen bzw. die Kurbelzapfen-

nachsen umlaufenden, an den Übergangsstellen zwischen den Hauptlager- bzw. Kurbelzapfen und den Kurbelwangen ausgebildeten Kehlen (6a bis 6d) aufweist, wobei sowohl das Festwalzen als auch das Richten durch Kaltwalzen der Kehlenwandungen mittels in die Kehlen einlegbaren, quer zur theoretischen Achse (3) beweglichen Werkzeugen (24,25) erfolgt und die Kurbelwelle nach Messung ihrer beim Festwalzen erhaltenen Rundlaufabweichung relativ zur theoretischen Achse dadurch gerichtet wird, daß  
 5 mittels der Werkzeuge auf vorgewählte Abschnitte (69) der Kehlenwandungen Druck ausgeübt wird, dadurch gekennzeichnet, daß d Festwalzen vor dem Richten im Bereich aller Hauptlager- und Kurbelzapfen (2, 4a bis 4d) erfolgt, die Rundlaufabweichungen der Kurbelwelle (1) für jeden einzelnen Hauptlagerzapfen (2) gemessen werden und das Richten an diesen so durchgeführte wird, daß danach  
 10 die verbleibenden Rundlaufabweichungen für alle Hauptlagerzapfen (2) innerhalb festgelegter Toleranzbereiche liegen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Kaltwalzen mit wenigstens einer Druckrolle (25) vorgenommen, während des Kaltwalzens eine relative Drehbewegung zwischen dem Werkstück (1) und der Druckrolle (25) um die Achse (3) erzeugt und zumindest immer dann eine den Richtvorgang bewirkende Kraft auf die Druckrolle (25) ausgeübt wird, wenn diese den vorgewählten Abschnitt (69) der Kehlenwandung überläuft.  
 15

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Werkstück (1) oder die Druckrolle (25) einer hin- und hergehenden Pendelbewegung unterworfen wird.  
 20

4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Werkstück (1) oder die Druckrolle (25) einer kontinuierlich umlaufenden Drehbewegung unterworfen wird.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die auf die Druckrolle (25) ausgeübte Kraft jeweils vor ihrem Auflaufen auf den ausgewählten Abschnitt allmählich bis zu einem Höchstwert gesteigert, dann auf diesem Höchstwert gehalten und schließlich vor dem Verlassen dieses Abschnitts (69) allmählich verkleinert wird.  
 25

6. Verfahren nach Anspruch 4 und 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Winkelgeschwindigkeit der Drehbewegung während derjenigen Zeitspannen, in denen die Druckrolle (25) außerhalb des ausgewählten Abschnitts (69) angeordnet ist, vergrößert wird.  
 30

7. Verfahren nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 6 zum Richten von Kurbelwellen mit einer Mehrzahl von Hauptlager- und Kurbelzapfen, wobei die Achsen der Kurbelzapfen sämtlich in einer einzigen, auch die theoretische Achse (3) enthaltenden Hauptebene liegen, dadurch gekennzeichnet, daß die Kurbelwelle zunächst in ihrer Nebenebene und erst danach in ihrer Hauptebene gerichtet wird, wobei die Nebenebene senkrecht zur Hauptebene verläuft und ebenfalls die theoretische Achse (3) enthält.  
 35

8. Verfahren nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 6 zum Richten von Kurbelwellen mit einer Mehrzahl von Hauptlager- und Kurbelzapfen, wobei die Achsen der Kurbelzapfen nicht sämtlich in einer einzigen, die theoretische Achse (3) enthaltenden Ebene liegen und jedem Hauptlagerzapfen ein oder zwei Kurbelzapfen benachbart sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Kurbelwelle zunächst in ihren Nebenebenen und erst danach auch in ihren Hauptebenen gerichtet wird, wobei für jeden Hauptlagerzapfen (2) diejenige Ebene als Hauptebene definiert wird, die entweder die theoretische Achse (3) und die Achse des einzigen benachbarten Kurbelzapfens (4) oder die theoretische Achse (3) und die Winkelhalbierende zwischen den beiden Ebenen enthält, die durch die Achse je eines benachbarten Kurbelzapfens (4) und die theoretische Achse (3) verlaufen, und wobei für jeden Hauptlagerzapfen (2) die Nebenebene senkrecht zu einer Hauptebene verläuft.  
 40  
 45  
 50

9. Verfahren nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Richten durch gleichzeitiges Kaltwalzen der Wandungen der Kehlen (6) mehrerer oder aller Hauptlagerzapfen (2) erfolgt.  
 55

10. Verfahren nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Richten in aufeinanderfolgenden Schritten erfolgt, die Kurbelwelle (1) nach jedem Schritt neu vermessen wird und der nachfolgende Schritt mit veränderten, unter Berücksichtigung der vorausgegangenen Schritte

korrigierten Richtparametern durchgeführt wird.

- 5 11. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10 mit zangenartigen, von zwei Meisterwellen (8a,8b) getragenen Halterungen, die je zwei schwenkbar miteinander verbundene Backen (18,21 bzw. 19,22) zum Einspannen eines zugeordneten Hauptlager- oder Kurbelzapfens (2,4) einer Kurbelwelle (1) aufweisen, wobei die eine Backe (18,19) mit wenigstens einer Stützrolle (23) und die andere Backe (21,22) mit wenigstens einer zum Einlegen in eine Kehle (6) bestimmten Druckrolle (25) versehen ist und wobei bei Verwendung der Vorrichtung die Zahl der Hauptlager- und Kurbelzapfen (2,4) der Kurbelwelle (1) der Anzahl der Halterungen entspricht, und mit Steuereinrichtungen für die Halterungen zur Steuerung der Einspannkraft der Backen (18,21 bzw. 19,22), wobei wenigstens einer der den Hauptlagerzapfen (2) zugeordneten Halterungen eine Steuereinrichtung mit einem Meßorgan (49) zur Ermittlung von Rundlaufabweichungen im Bereich des zugehörigen Lagerzapfens (2) und einem Stellglied (37) zugeordnet ist, wobei mittels des Stellglieds (37) die auf den zugehörigen Hauptlagerzapfen (2) von den Druckrollen (25) ausgeübten Kräfte in Abhängigkeit von der jeweiligen Drehwinkelstellung und der ermittelten Rundlaufabweichungen auf solche zum Richten des Hauptlagerzapfens (2) bestimmte Werte einstellbar sind, daß die nach dem Richten verbleibenden Rundlaufabweichungen für diesen mindestens einen Hauptlagerzapfen (2) innerhalb festgelegter Toleranzbereiche liegen, dadurch gekennzeichnet, daß jeder Halterung der Hauptlagerzapfen (2) eine ein solches Meßorgan (49) und ein solches Stellglied (37) aufweisende Steuereinrichtung zugeordnet ist, wobei mittels dieser Stellglieder (37) die von den Druckrollen (25) ausgeübten Kräfte auf solche zum Richten der Hauptlagerzapfen (2) bestimmte Werte einstellbar sind, daß die nach dem Richten verbleibenden Rundlaufabweichungen für alle Hauptlagerzapfen (2) innerhalb festgelegter Toleranzbereiche liegen.
- 10 12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß sie wenigstens ein die jeweilige Drehwinkelstellung der Kurbelwelle (1) anzeigendes, mit allen Steuereinrichtungen verbundenes Anzeigeorgan (54) aufweist.
- 15 20 25

### Claims

- 30 1. A method of hard-rolling and then aligning a crankshaft (1) mounted rotatably about its theoretical axis, the crankshaft comprising a plurality of main bearing journals (2), crank cheeks (5) and crank journals (4a to 4d) lying therebetween and fillets (6a to 6d) running round the main bearing journal axes and crank journal axes at the transitions between the main bearing journals and crank journals and the crank cheeks, wherein both the hard-rolling and the aligning are effected by cold rolling the fillet walls by means of tools (24, 25) which can be fitted into the fillets and are movable transversely to the theoretical axis (3), and the crankshaft is so aligned after measuring its deviation from true running relative to the theoretical axis resulting from the cold rolling in that pressure is exerted by means of the tools on selected sections (69) of the fillet walls, characterized in that the hard rolling is effected before the alignment in all regions of the main bearing and crank journals (2, 4a to 4d), the deviations from true running of the crankshaft (1) are measured for each individual main bearing journal (2) and the alignment is so effected thereat that the residual deviations from true running for all main bearing journals (2) then lie within fixed tolerance ranges.
- 35 40 45 50 55 2. A method according to claim 1, characterized in that the cold rolling is effected with at least one pressure roller (25), while relative rotation about the axis (3) between the workpiece (1) and the pressure roller (25) is effected during the cold rolling, and a force effecting the aligning operation is exerted on the pressure roller (25) at least at all times when this roller runs over the selected section (69) of the fillet wall.
3. A method according to claim 2, characterized in that the workpiece (1) or the pressure roller (25) is subjected to a to and fro oscillating movement.
4. A method according to claim 2, characterized in that the workpiece (1) or the pressure roller (25) is subjected to a continuously circulating rotary movement.
5. A method according to claim 3 or 4, characterized in that the force exerted on the workpiece (1) or the pressure roller (25) is increased gradually each time before it runs on to the selected section, up to a

maximum value, is then maintained at this maximum value and finally is gradually reduced before leaving this section (69).

- 5 6. A method according to claim 4 and 5, characterized in that the angular speed or the rotary movement is increased during that interval of time in which the pressure roller (25) is outside the selected section (69).
- 10 7. A method according to at least one of claims 1 to 6, for aligning crankshafts with a plurality of main bearing and crank journals, wherein the axes of the crank journals all lie in a single plane containing the theoretical axis (3), characterized in that the crankshaft is aligned firstly in its subsidiary plane and only then in its main plane, where the subsidiary plane is perpendicular to the main plane and likewise contains the theoretical axis (3).
- 15 8. A method according to at least one of claims 1 to 6, for aligning crankshafts with a plurality of main bearing and crank journals, wherein the axes of the crank journals do not all lie in a single plane containing the theoretical axis (3) and one or two crank journals are adjacent to each main bearing journal, characterized in that the crankshaft is firstly aligned in its subsidiary planes and only then in its main planes, wherein for each main bearing journal (2) there is defined as the main plane that plane which either contains the theoretical axis (3) and the axis of the single adjacent crank journal (4) or  
20 contains the theoretical axis (3) and bisects the angle between the two planes which run through the respective adjacent crank journals (4) and the theoretical axis (3), and wherein the subsidiary plane for each main bearing journal (2) extends perpendicular to a main plane.
- 25 9. A method according to at least one of claims 1 to 8, characterized in that the aligning is effected by simultaneous cold rolling of the walls of the fillets (6) of a plurality or all the main bearing journals (2).
- 30 10. A method according to at least one of claims 1 to 9, characterized in that the aligning is effected in sequential steps, the crankshaft (1) being measured afresh after each step and the following step being carried out with modified alignment parameters corrected in the light of the previous steps.
- 35 11. Apparatus for carrying out the method according to any of claims 1 to 10, with pincer-like holders carried by two master shafts (8a, 8b) and each comprising two jaws (18, 21 or 19, 22) pivotally connected to each other for clamping an associated main bearing or crank journal (2, 4) of a crankshaft (1), wherein the one jaw (18, 19) is provided with at least one support roller (23) and the other jaw (21, 22) is provided with a pressure roller (25) for fitting into a fillet (6) and wherein the number of main bearing and crank journals (2,4) of the crankshaft (1) corresponds in use of the apparatus to the number of holders, and with control devices for the holders for controlling the clamping force of the jaws (18, 21 or 19, 22), wherein at least one of holders associated with the main bearing journals (2) has associated therewith a measuring member (49) for determining the deviations from true running in the region of the  
40 associated bearing journal (2), and an adjusting member (37), wherein the forces exerted on the associated main bearing journal (2) by the pressure rollers (25) by means of the adjusting member (37) can be adjusted in dependence on values determined from the current rotary angular position and the determined deviations from true running to align the main bearing journal (2), such that the deviations from true running remaining after the aligning lie for this at least one main bearing journal (2) within predetermined tolerance ranges, characterized in that each holder of the main bearing journals (2) has associated therewith such a measuring member (49) and a control device with such an adjusting member (37), whereby the forces exerted by the pressure rollers (25) can be adjusted by means of these adjusting members (37) to such values adapted to align the main bearing journals (2) that the deviations from true running remaining after the alignment lie within predetermined tolerance ranges for  
45 all main bearing journals (2).
- 50 12. Apparatus according to claim 11, characterized in that it comprises at least one indicator device (54) connected to all control devices to indicate the current rotary angular position of the crankshaft (1).

## 55 Revendications

1. Procédé de laminage fixe et ensuite dressage d'un vilebrequin (1) monté tournant autour de son axe théorique qui présente un certain nombre de tourillons (2), de bras (5) et de manetons (4a à 4d) placés

entre ces tourillons et de gorges (6a à 6d) faisant le tour des tourillons et des manetons faites aux endroits de raccordement de ceux-ci aux bras, le laminage fixe et le dressage étant faits par laminage à froid des parois des gorges au moyen d'outils (24, 25) pouvant être placés dans les gorges et mobiles perpendiculairement à l'axe théorique (3) et le vilebrequin étant, après mesure de son écart de coaxialité obtenu lors du laminage fixe relativement à l'axe théorique, dressé par exercice d'une pression au moyen des outils sur des parties choisies à l'avance (69) des parois des gorges, caractérisé par le fait que le laminage fixe est fait avant le dressage dans la zone de tous les tourillons et manetons (2, 4a à 4d), les écarts de coaxialité du vilebrequin (1) sont mesurés pour chacun des tourillons (2) et le dressage est fait sur ceux-ci de façon qu'après celui-ci, les écarts résiduels de coaxialité soient pour tous les tourillons (2) à l'intérieur de zones de tolérances fixées.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait que le laminage à froid est fait avec au moins un galet de pression (25), pendant le laminage à froid est produit un mouvement de rotation relatif entre la pièce (1) et le galet de pression (25) autour de l'axe (3) et une force produisant le dressage est exercée sur le galet de pression (25) au moins pendant tout le temps où celui-ci franchit la partie choisie à l'avance (69) de la paroi de la gorge.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé par le fait que la pièce (1) ou le galet de pression (25) est soumis à un mouvement oscillant de va-et-vient.

4. Procédé selon la revendication 2, caractérisé par le fait que la pièce (1) ou le galet de pression (25) est soumis à un mouvement de rotation continu.

5. Procédé selon l'une des revendications 3 et 4, caractérisé par le fait que la force exercée sur le galet de pression (25) est, avant que celui-ci accoste la partie choisie à l'avance, augmentée progressivement jusqu'à une valeur maximale, puis maintenue à cette valeur maximale et enfin, avant que celui-ci quitte cette partie (69), diminuée progressivement.

6. Procédé selon les revendications 4 et 5, caractérisé par le fait que la vitesse angulaire du mouvement de rotation est augmentée pendant les périodes où le galet de pression (25) est en dehors de la partie choisie à l'avance (69).

7. Procédé selon au moins une des revendications 1 à 6 de dressage de vilebrequins ayant un grand nombre de tourillons et de manetons, les axes des manetons étant tous dans un même plan principal contenant aussi l'axe théorique (3), caractérisé par le fait que le vilebrequin est dressé d'abord dans son plan secondaire et seulement ensuite dans son plan principal, le plan secondaire étant perpendiculaire au plan principal et contenant aussi l'axe théorique (3).

8. Procédé selon au moins une des revendications 1 à 6 de dressage de vilebrequins ayant un grand nombre de tourillons et de manetons, les axes des manetons n'étant pas tous dans un même plan contenant l'axe théorique (3) et un ou deux manetons étant voisins de chaque tourillon, caractérisé par le fait que le vilebrequin est dressé d'abord dans ses plans secondaires et seulement ensuite dans ses plans principaux, pour chaque tourillon (2) étant défini comme plan principal le plan qui contient soit l'axe théorique (3) et l'axe de l'unique maneton voisin (4), soit l'axe théorique (2) et la bissectrice des deux plans qui passent chacun par l'axe d'un maneton (4) voisin et par l'axe théorique (3), le plan secondaire étant, pour chaque tourillon (2), perpendiculaire à un plan principal.

9. Procédé selon au moins une des revendications 1 à 8, caractérisé par le fait que le dressage est fait par laminage à froid simultané des parois des gorges (6) de plusieurs tourillons (2) ou de tous les tourillons.

10. Procédé selon au moins une des revendications 1 à 9, caractérisé par le fait que le dressage est fait par étapes successives, le vilebrequin (1) est remesuré après chaque étape et l'étape suivante est exécutée avec des paramètres de dressage modifiés corrigés en considération des étapes précédentes.

11. Appareil pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une des revendications 1 à 10, comportant des dispositifs de fixation du genre pince portés par deux arbres maîtres (8a, 8b) qui présentent chacun

deux mâchoires articulées l'une à l'autre (18, 21 ou 19, 22) pour le serrage d'un tourillon ou maneton associé (2, 4) d'un vilebrequin (1), une mâchoire (18, 19) étant pourvue d'au moins un galet d'appui (23) et l'autre mâchoire (21, 22) pourvue d'au moins un galet de pression (25) destiné à être placé dans une gorge (6) et, lors de l'utilisation de l'appareil, le nombre de tourillons et de manetons (2, 4) du vilebrequin (1) correspondant au nombre de dispositifs de fixation, et comportant des dispositifs de commande des dispositifs de fixation pour la commande de la force de serrage des mâchoires (18, 21 ou 19, 22), à au moins un des dispositifs de fixation affectés aux tourillons (2) étant adjoit un dispositif de commande comportant un organe de mesure (49) pour la détermination des écarts de coaxialité dans la zone du tourillon (2) correspondant et un organe de réglage (37), cet organe de réglage (37) permettant de régler les forces exercées par les galets de pression (25) sur les tourillons (2) correspondants, en fonction de la position angulaire actuelle et des écarts de coaxialité déterminés, a des valeurs déterminées pour le dressage du tourillon (2) telles que les écarts de coaxialité restant après le dressage soient pour ce ou ces tourillons (2) à l'intérieur de zones de tolérances fixées, caractérisé par le fait qu'à chaque dispositif de fixation des tourillons (2) est adjoit un dispositif de commande pré sentant un tel organe de mesure (49) et un tel organe de réglage (37), les organes de réglage (37) permettant de régler les forces exercées par les galets de pression (25) à des valeurs déterminées pour le dressage des tourillons (2) telles que les écarts de coaxialité restant après le dressage soient pour tous les tourillons (2) à l'intérieur de zones de tolérances fixées.

12. Appareil selon la revendication 11, caractérisé par le fait qu'il présente au moins un organe indicateur (54) relié à tous les dispositifs de commande et indiquant la position angulaire actuelle de rotation du vilebrequin (1).

25

30

35

40

45

50

55

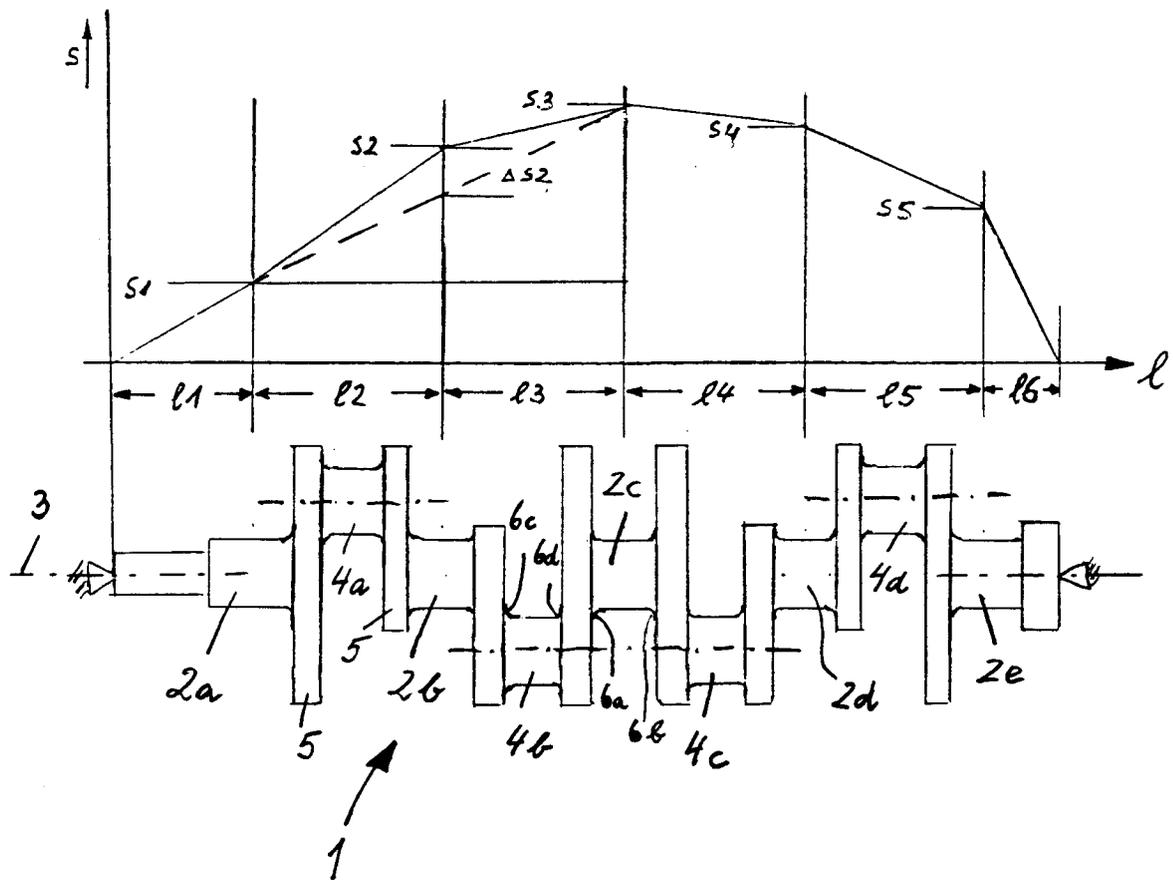


Fig. 1

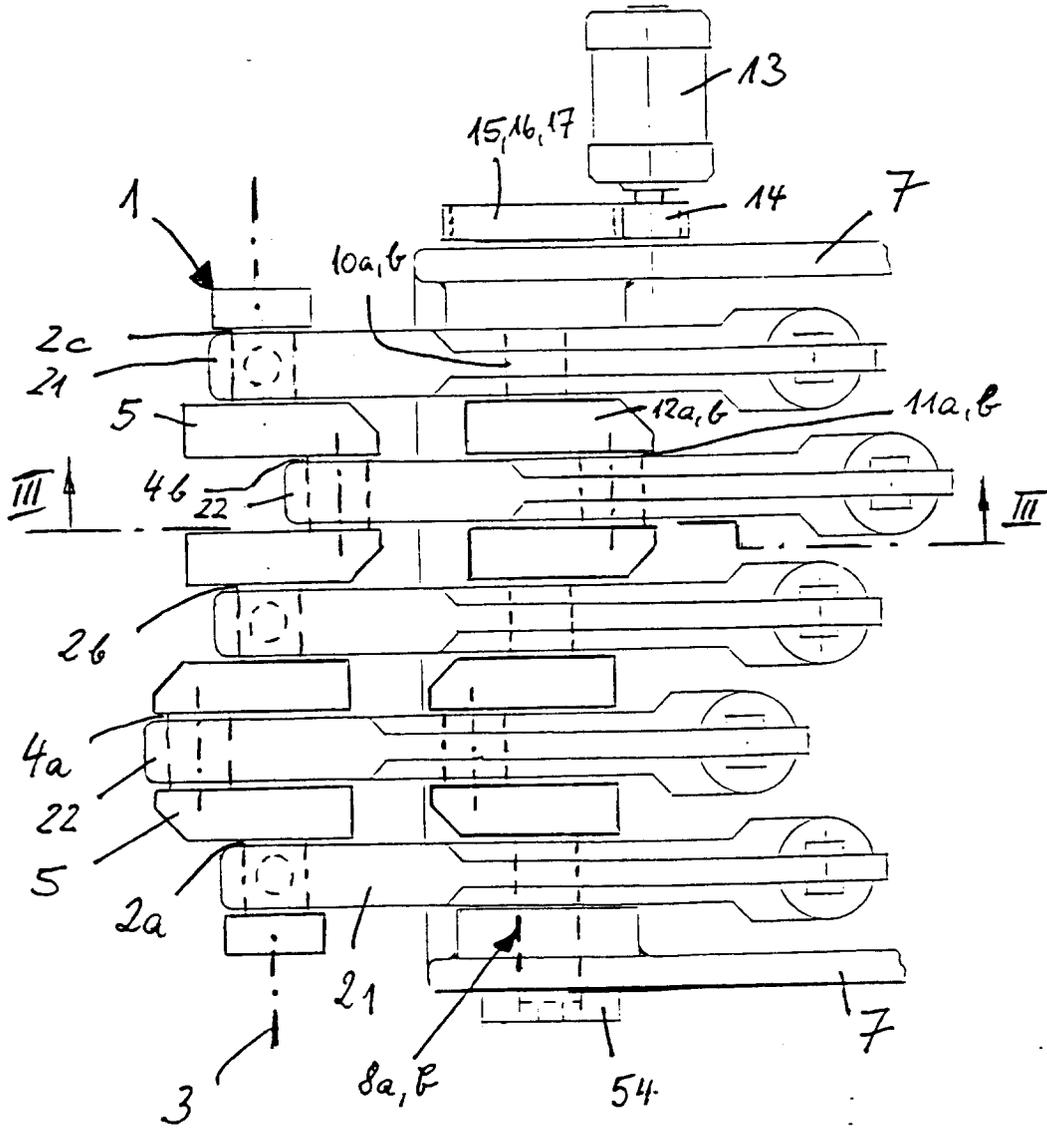


Fig. 2

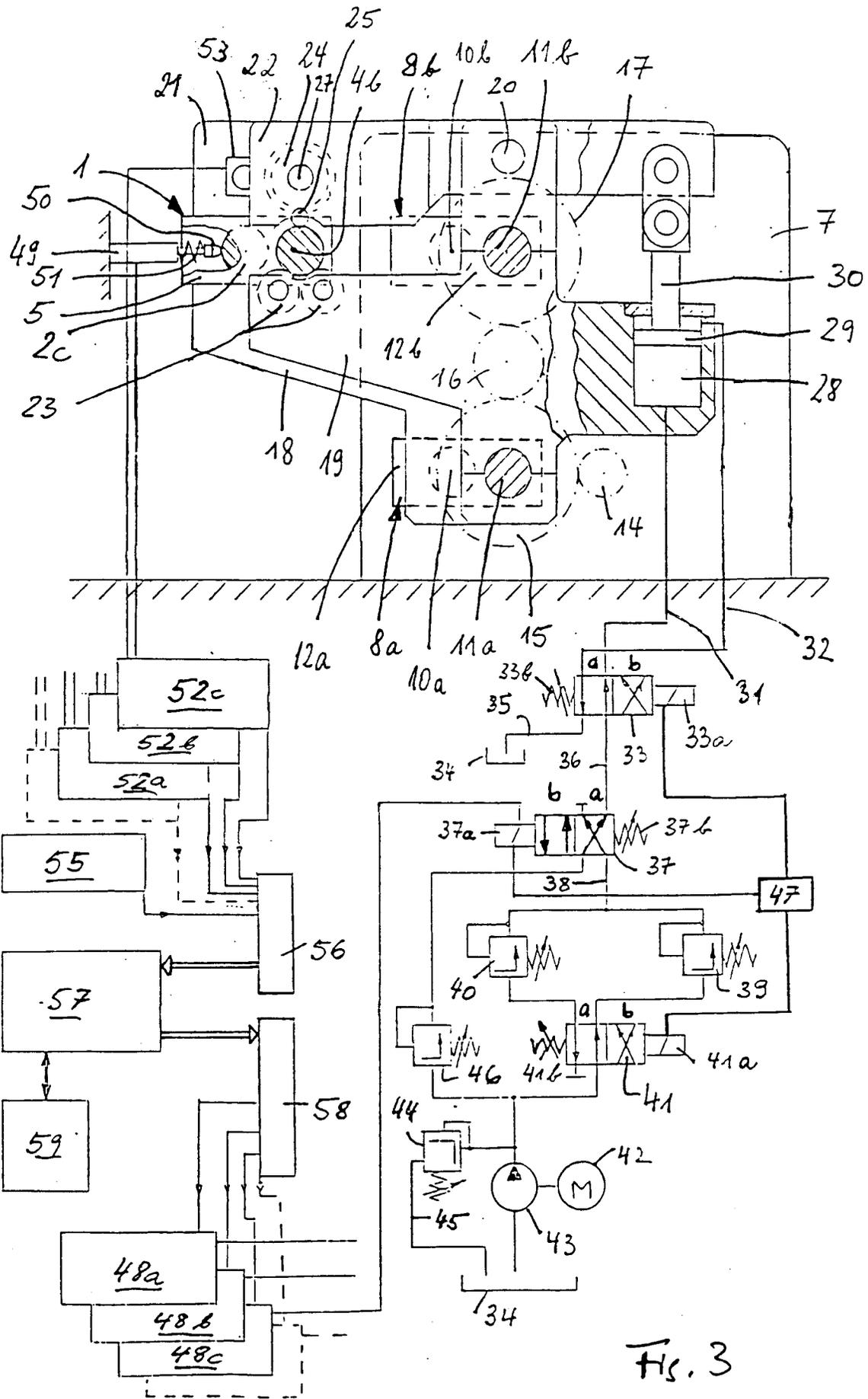


FIG. 3

