



12

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

21 Anmeldenummer: **91112171.3**

51 Int. Cl.<sup>5</sup>: **B24B 19/08**

22 Anmeldetag: **20.07.91**

30 Priorität: **25.07.90 DE 4023587**

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**29.01.92 Patentblatt 92/05**

84 Benannte Vertragsstaaten:  
**CH DE FR GB IT LI**

71 Anmelder: **Fortuna-Werke Maschinenfabrik GmbH**  
**Pragstrasse 140**  
**W-7000 Stuttgart 50(DE)**

72 Erfinder: **Clauss, Siegbert, Dipl.-Ing.**  
**Ahornweg 14**  
**W-7300 Esslingen(DE)**  
Erfinder: **Meusburger, Peter, Dipl.-Ing.**

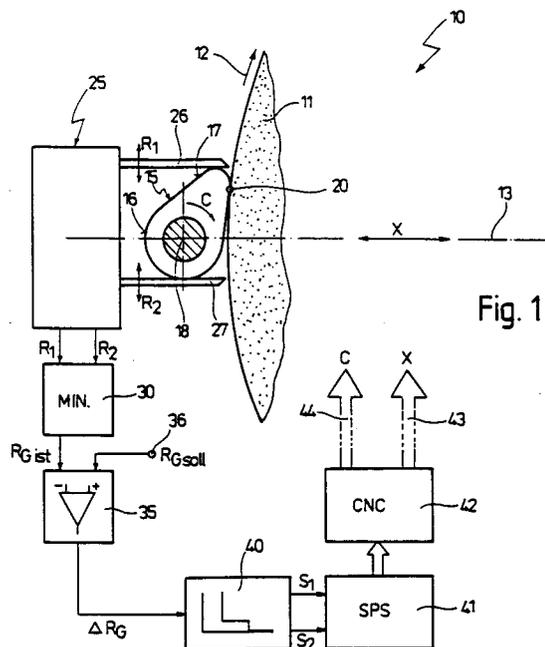
**Lindpaintstrasse 35**  
**W-7000 Stuttgart 1(DE)**  
Erfinder: **Brandt, Stefan, Dipl.-Ing.**  
**Sprottenweg 18**  
**W-7000 Stuttgart 50(DE)**  
Erfinder: **Schmitz, Roland**  
**Tannenweg 1**  
**W-7143 Vaihingen (Enz)(DE)**  
Erfinder: **Walz, Gerhard, Dipl.-Ing.**  
**Höhenstrasse 64**  
**W-7317 Wendingen(DE)**

74 Vertreter: **Witte, Alexander, Dr.-Ing. et al**  
**Augustenstrasse 7**  
**W-7000 Stuttgart 1(DE)**

54 **Verfahren zum Umfangsschleifen von radial unrundern Werkstücken.**

57 Ein Verfahren dient zum Umfangsschleifen von radial unrundern Werkstücken, insbesondere zum Schleifen von Nocken (15) oder Polygonen. Das Werkstück wird um eine erste Achse (18) gedreht, und eine Schleifescheibe (11) wird entlang einer zweiten Achse (13), die mit der ersten Achse (18) einen Winkel von vorzugsweise 90° einschließt, zugestellt. Das Werkstück (15) wird an seiner Oberfläche, ausgehend von einer Rohkontur entlang von spiralartigen Bahnen eines Eingriffspunktes (20) in einer Mehrzahl von jeweils einer Umdrehung des Werkstücks entsprechenden Schritten zu Zwischenkonturen und schließlich zu einer Fertigkontur abgetragen, indem das Werkstück und die Schleifscheibe (11) in Abhängigkeit von Datensätzen in vorbestimmter Weise gedreht bzw. zugestellt werden. Jeweils nach Erreichen einer Zwischenkontur wird ein neuer Datensatz für die folgende Umdrehung des Werkstücks aufgerufen. Es wird eine vorbestimmte absolute Abmessung ( $R_{Gist}$ ) des Werkstücks kontinuierlich gemessen und eine Abweichung ( $\Delta R_G$ ) von einem Sollwert ( $R_{Gsoll}$ ) ermittelt. Die Abweichung ( $\Delta R_G$ ) wird mit Schwellwerten verglichen (40), und bei Unterschreiten der Schwellwerte wird eine vorbe-

stimmte Anzahl von Schritten übersprungen



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Umfangsschleifen von radial unrundern Werkstücken, bei dem das Werkstück um eine erste Achse gedreht wird und eine Schleifscheibe entlang einer zweiten Achse, die mit der ersten Achse einen Winkel von vorzugsweise  $90^\circ$  einschließt, zugestellt wird, wobei das Werkstück an seiner Oberfläche, ausgehend von einer Rohkontur, entlang von spiralartigen Bahnen eines Eingriffspunktes in einer Mehrzahl von jeweils einer Umdrehung des Werkstücks entsprechenden Schritten zu Zwischenkonturen und schließlich zu einer Fertigungskontur abgetragen wird, indem das Werkstück und die Schleifscheibe in Abhängigkeit von Datensätzen in vorbestimmter Weise gedreht bzw. zugestellt werden, wobei jeweils nach Erreichen einer Zwischenkontur ein neuer Datensatz für die folgende Umdrehung des Werkstücks aufgerufen wird und bei dem eine vorbestimmte absolute Abmessung des Werkstücks kontinuierlich gemessen und eine Abweichung von einem Soll-Wert ermittelt wird.

Ein Verfahren der vorstehend genannten Art ist aus der EP-A 0 276 802 bekannt.

Beim Umfangsschleifen von radial unrundern Werkstücken, beispielsweise beim Umfangsschleifen von Nocken einer Nockenwelle oder von Polygon-Profilen, werden heute numerisch gesteuerte (CNC) Schleifmaschinen eingesetzt. Beim Bearbeiten der Werkstücke werden die Werkstücke eingespannt und um ihre Längsachse (sogenannte C-Achse) mittels einer steuerbaren Werkstückdreheinrichtung gedreht. Die Schleifscheibe ist demgegenüber auf einem Schleifschlitten angeordnet, der auf die Drehachse des Werkstücks zu entlang einer weiteren Achse (sogenannte X-Achse) zustellbar ist. Die C-Achse und die X-Achse stehen üblicherweise aufeinander senkrecht.

Das gewünschte Umfangsprofil des Werkstücks, also z.B. die Nockenform oder die Polygon-Form, werden nun dadurch erzeugt, daß in Abhängigkeit voneinander das Werkstück um die C-Achse in vorbestimmten Winkelschritten gedreht und zugleich die Schleifscheibe entlang der X-Achse linear zugestellt wird. Diese beiden aufeinander abgestimmten Bewegungen beschreiben im sogenannten "Bahnbetrieb" das jeweils gewünschte Profil des Werkstücks, während im sogenannten "Zustellbetrieb" eine weitere Zustellbewegung überlagert wird, die der gewünschten Materialabtragung entspricht.

Um die C-Achse und die X-Achse in der beschriebenen Weise in Abhängigkeit vom jeweils gewünschten Umfangsprofil des Werkstücks zu bewegen, sind in der Steuerung der Schleifmaschine Datensätze abgelegt. Diese Datensätze ordnen jeder Winkelstellung der C-Achse eine bestimmte lineare Einstellung der X-Achse zu, wobei die Werte der Datensätze so aufeinander abgestimmt sind,

daß gerade das gewünschte Umfangsprofil entsteht, und zwar unter Berücksichtigung sowohl des "Bahnbetriebes" wie auch des "Zustellbetriebes".

Werkstücke der hier interessierenden Art werden zur Durchführung derartiger Verfahren als Rohlinge angeliefert, d.h. als Werkstücke, die gegenüber dem gewünschten Fertigmaß noch ein beträchtliches Aufmaß aufweisen, das es mit dem jeweiligen Verfahren abzutragen gilt. Da jedoch das Gesamtaufmaß, d.h. der geometrische Abstand der Rohkontur von der gewünschten Sollkontur, im allgemeinen größer ist als es der in einem Bearbeitungsschritt abtragbaren Menge an Werkstoff entspricht, werden die bekannten Verfahren üblicherweise in mehreren Schritten nacheinander durchgeführt. So werden üblicherweise zunächst einige Schrubb-Schritte mit relativ großer Zustellung und nachfolgend einige Schlicht-Schritte mit entsprechend kleinerer Zustellung ausgeführt, bis das fertig geschliffene Werkstück schließlich ausgefahren, d.h. aus der Werkstückaufnahme ausgespannt wird.

Infolge dieser schrittweisen Bearbeitung des Werkstücks von der Rohkontur zur Sollkontur wird der Eingriffspunkt der Schleifscheibe am Werkstück entlang einer spiralartigen Bahn geführt, die an einem ersten Eingriffspunkt der Schleifscheibe an der Rohkontur des noch unbearbeiteten Werkstücks beginnt und schließlich auf einem Endpunkt der Fertigungskontur des fertig bearbeiteten Werkstücks endet.

Es ist bei derartigen mehrschrittigen Bearbeitungsverfahren bekannt, für jeden Schritt, d.h. für jede Umdrehung des Werkstücks, einen bestimmten Datensatz vorzusehen, der jeweils von einer zuvor erreichten Zwischenkontur zur jeweils nächsten Zwischenkontur reicht. Üblicherweise wird hierzu für jeden derartigen Schritt ein Datensatz in der numerischen Steuerung der Werkzeugmaschine abgelegt, damit diese Datensätze beim Bearbeiten der Werkstücke zeitsparend nacheinander abgerufen werden können. Es wäre zwar auch möglich, für jeden neuen Bearbeitungsschritt die erforderlichen Datensätze während des Verfahrens zu berechnen, mit den heute verfügbaren Mitteln wäre dies jedoch zu zeitaufwendig, weswegen man üblicherweise sämtliche Datensätze zuvor festlegt und als feste Daten in der Steuerung abspeichert.

Bei der realen Bearbeitung unrunder Werkstücke können nun zahlreiche Störeinflüsse auftreten, die zu Bearbeitungsfehlern führen. Ein erster Störeinfluß kann dadurch entstehen, daß ein an den Enden eingespanntes Werkstück, beispielsweise eine lange dünne Welle, gegenüber der sich anlegenden Schleifscheibe radial ausweicht. Ein weiterer Störeinfluß besteht in thermischen Längenveränderungen bei Bauteilen der Werkzeugmaschine und auch beim Werkstück selbst. Ein weiterer Störeinfluß ergibt sich aus dynamischen Schleppfeh-

lern, wenn nämlich die Schleifmaschine zum Ausführen eines Unrund-Schleifverfahrens relativ große Massen (Schleifschlitten) relativ schnell verfahren muß. Schließlich entstehen auch Störeinflüsse durch die Abnutzung der Schleifscheibe, durch Lagerveränderung beim Ein- und Ausspannen und dergleichen mehr.

Die sich aus diesen Störeinflüssen ergebenden Fehler unterteilt man in die sogenannten Formfehler und die sogenannten Maßfehler. Bei den Formfehlern wird lediglich die Abweichung von der ideal vorgegebenen Form berücksichtigt, ohne daß dabei absolute Abmessungen eine Rolle spielen. Bei den Maßfehlern werden hingegen nur die absoluten Abmessungen bestimmter charakteristischer Punkte des erzeugten Profils überprüft, während die Formtreue im übrigen unberücksichtigt bleibt.

Bei den früher üblichen Verfahren, wie sie beispielsweise in der DE-Z "Werkstatt und Betrieb", 118 (1985), Seiten 443 bis 448), beschrieben sind, wurde zum Schleifen von Nocken einer Nockenwelle zunächst eine Nockenwelle mit vorgegebenen Datensätzen geschliffen. Die Nockenwelle wurde alsdann aus der Schleifmaschine ausgespannt, an einem anderen Ort vermessen, und es wurden die Formfehler bestimmt. Aus den ermittelten Formfehlern der real geschliffenen Nockenwelle wurden dann Korrekturwerte für die Datensätze abgeleitet, um weitere Nockenwellen dann mit korrigierten Datensätzen schleifen zu können.

Diese herkömmliche Vorgehensweise ist jedoch mit mehreren Nachteilen behaftet. Zum einen bleiben die erwähnten Maßfehler unberücksichtigt, und zum anderen bringt das erwähnte Umspannen der Werkstücke einen erheblichen Zeitaufwand mit sich sowie das Risiko weiterer Fehler.

Aus der eingangs genannten EP-A 0 276 802 ist nun ein weiteres Schleifverfahren bekannt, bei dem ein un rundes Werkstück (Nockenwelle) während der Einspannung in der Schleifscheibe mittels Meßtastern vermessen wird, um Maßfehler zu ermitteln. Bei dem bekannten Verfahren wird zunächst der erste Nocken der Nockenwelle mit vorgegebenen Daten geschliffen, alsdann werden mittels der genannten Meßtaster die Maßfehler ermittelt, und es werden die Datensätze der Steuerung der Schleifmaschine sofort korrigiert, damit dann alle weiteren Nocken der Nockenwelle mit den korrigierten Werten geschliffen werden können.

Dieses Verfahren hat damit den wesentlichen Vorteil, daß in ein- und derselben Aufspannung eine Korrektur der Maßfehler zumindest für die weiteren Nocken der Nockenwelle vorgenommen werden kann. Allerdings verbleibt bei dem genannten Verfahren ein gewisser Nachteil dadurch, daß der erste Nocken noch mit den unkorrigierten Datensätzen geschliffen wurde. Außerdem ist dieses bekannte Verfahren nicht bei solchen un runden

Werkstücken anwendbar, bei denen am Werkstück nur ein einziges Unrundprofil vorgesehen ist. Dies ist z.B. bei Polygon-Wellen oder Polygon-Verbindungen mit Außen- oder Innen-Polygon der Fall.

5 Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art dahingehend weiterzubilden, daß Bearbeitungsfehler vom ersten Eingriff der Schleifscheibe am Werkstück an erkannt, überwacht und für die Steuerung der Werkzeugmaschine ausgewertet werden, so daß die geschliffenen Werkstücke in vollem Umfang maßtreu sind.

10 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Abweichung mit Schwellwerten verglichen wird und daß bei Unterschreiten der Schwellwerte eine vorbestimmte Anzahl von Schritten übersprungen wird.

15 Die der Erfindung zugrundeliegende Aufgabe wird auf diese Weise vollkommen gelöst.

20 Beim erfindungsgemäßen Verfahren wird nämlich im Gegensatz zum Stand der Technik ein geregelt Verfahren eingesetzt, bei dem die Abmessungen des Werkstücks durch kontinuierliches Messen überwacht werden, indem ein Vergleich mit einem Sollwert stattfindet. Wenn der für die jeweilige Bearbeitung oder Bearbeitungsphase vorgesehene Soll-Wert erreicht wurde, wird die Bearbeitung abgebrochen, mit der Folge, daß stets ein Werkstück erzeugt wird, das genau die gewünschten Abmessungen aufweist.

25 Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht es daher erstmals, un runde Werkstücke bereits bei der allerersten Bearbeitung maßgenau zu schleifen. Aber auch bei Werkstücken, z.B. Nockenwellen, bei denen an mehreren Stellen des Werkstücks gleiche Unrundprofile geschliffen werden sollen, ist es mit dem erfindungsgemäßen Verfahren möglich, bereits an der ersten Bearbeitungsstelle, z.B. am ersten Nocken, ein maßgetreues Profil zu erzeugen.

30 Bei einer bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens sind eine erste Mehrzahl von Schrupp-Schritten und eine nachfolgende zweite Mehrzahl von Schlicht-Schritten vorgesehen, und es werden bei Unterschreiten des Schwellwertes während eines Schrupp-Schrittes alle weiteren Schrupp-Schritte übersprungen.

35 Diese Maßnahme hat den Vorteil, daß bei einem Bearbeiten in mehreren Phasen (Schruppen/Schlichten) im Verlaufe einer der mehreren Bearbeitungsphasen das Erreichen eines Zwischen-Soll-Wertes überwacht wird, um sogleich das Ende dieser Bearbeitungsphase einzustellen.

40 In entsprechender Weise können bei einer Mehrzahl von Schlicht-Schritten und einem nachfolgenden Ausfahrschritt bei Unterschreiten des Schwellwertes während eines Schlicht-Schrittes alle weiteren Schlicht-Schritte übersprungen werden.

Damit ist das erfindungsgemäße Verfahren auch bei nachfolgenden Bearbeitungsphasen einsetzbar oder aber beim Bearbeiten von Werkstücken, die nur mit einer einzigen Bearbeitungsart bearbeitet werden.

Es ist ferner im Rahmen der vorliegenden Erfindung bevorzugt, wenn während einiger der Mehrzahl von Schritten ein endlicher Betrag einer Zustellung vorgegeben und der Betrag für zeitlich aufeinanderfolgende Schritte unterschiedlich bemessen wird. Insbesondere kann dabei der Betrag der Zustellung für zeitlich aufeinanderfolgende Schritte abnehmen.

Diese Maßnahme hat den Vorteil, daß je nach vorliegendem Umfangsprofil, Werkstoff oder Schleifscheibenart das abzutragende Aufmaß für zeitlich aufeinanderfolgende Bearbeitungsschritte individuell festgelegt werden kann.

Um im Rahmen der vorliegenden Erfindung die oben erwähnte vorbestimmte Anzahl von Schritten überspringen zu können, bieten sich beispielsweise zwei Möglichkeiten an:

Bei einer ersten Variante eines Ausführungsbeispiels der Erfindung wird eine Mehrzahl von Schritten vorgesehen, die größer ist als die im ungünstigsten Fall für das jeweilige Werkstück erforderliche Anzahl, und es werden bei Unterschreiten des Schwellwertes die noch nicht abgearbeiteten Schritte übersprungen.

Alternativ dazu kann aber auch mit einer Schleife gearbeitet werden, indem eine Mehrzahl von Schritten vorgesehen wird, bei der die letzten Schritte durch eine Wiederholung eines bestimmten Schrittes gebildet werden und bei Unterschreiten des Schwellwertes diese Wiederholung abgebrochen wird.

Während sich im erstgenannten Fall der Vorteil ergibt, daß jeder neue abzuarbeitende Bearbeitungsschritt individuell eingestellt werden kann, ergibt sich im zweiten Falle unter Umständen eine Vereinfachung der Steuerung.

Weitere Vorteile ergeben sich aus der Beschreibung und der beigefügten Zeichnung.

Es versteht sich, daß die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendet werden können, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein äußerst schematisiertes Schaubild einer Schleifmaschine zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig. 2 ein Diagramm zur Erläuterung einer

im Rahmen des vorliegenden Verfahrens eingesetzten Regelung;

Fig. 3 eine Seitenansicht eines Nockens einer Nockenwelle zur Veranschaulichung eines Werkstücks, wie es mit dem erfindungsgemäßen Verfahren vorteilhaft bearbeitet werden kann;

Fig. 4 eine Darstellung, ähnlich Fig. 3, jedoch für den Fall eines Polygon-Profils;

Fig. 5 ein weiteres Diagramm zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig. 6 ein Blockschaltbild zur Erläuterung der Modifikation von Datensätzen;

Fig. 7 ein Flußdiagramm zur weiteren Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig. 8 einen Ausschnitt aus dem Flußdiagramm der Fig. 7 zur Erläuterung weiterer Einzelheiten des erfindungsgemäßen Verfahrens.

In Fig. 1 bezeichnet 10 insgesamt eine äußerst schematisch dargestellte Schleifmaschine. Die Schleifmaschine 10 umfaßt eine Schleifscheibe 11, die sich in einer mit 12 angedeuteten Richtung um eine in Fig. 1 nicht dargestellte Achse dreht. Die Schleifscheibe 11 ist entlang einer linearen ersten Achse 13, der sogenannten X-Achse, verstellbar. Hierzu ist die Schleifscheibe 11 auf einem in Fig. 1 nicht dargestellten Schleifschlitten angeordnet, der in herkömmlicher Weise in Richtung der ersten Achse 13 verschiebbar ist, wie ebenfalls der Übersichtlichkeit halber in Fig. 1 nicht gezeigt.

Als Beispiel für ein radial un rundes Werkstück, wie es mit dem erfindungsgemäßen Verfahren bearbeitet werden kann, ist in Fig. 1 ein Nocken 15 dargestellt. Der Nocken 15 hat in bekannter Weise einen Grundkreisabschnitt 16, d.h. einen Bereich mit konstantem Radius, und darüber hinaus auch einen Erhebungsabschnitt 17, einen Bereich also, in dem der Nocken 15 radial un rund ist.

Der Nocken 15 ist Teil einer Nockenwelle, die um ihre Längsachse in einer zweiten Achse 18 der Schleifmaschine 10 eingespannt ist. Die zweite Achse 18 ist eine Drehachse, wie in Fig. 1 mit einem Pfeil angedeutet. Sie wird in der Praxis als C-Achse bezeichnet.

Wenn die Schleifscheibe 11 den Nocken 15 bearbeitet, so greift sie an einem Eingriffspunkt 20 am Umfange des Nockens 15 an. Unter "Eingriffspunkt" ist dabei natürlich eine linienförmige Anlage der Schleifscheibe 11 am Nocken 15 senkrecht zur Zeichenebene der Fig. 1 zu verstehen.

Die zweite Achse 18 steht üblicherweise auf der ersten Achse 13 senkrecht, die beiden Achsen können jedoch auch einen endlichen Winkel einer

anderen Größe miteinander einschließen.

Um das gewünschte Umfangsprofil, z.B. des Nockens 15, zu erzeugen, wird der Nocken 15 um die zweite Achse 18 in vorbestimmten Winkelschritten gedreht, und die Schleifscheibe 11 wird zugleich entlang der ersten Achse 13 in vorbestimmter Weise hin- und herbewegt. Auf diese Weise wird bei wanderndem Eingriffspunkt 20 das gewünschte Profil beschrieben und zugleich die erforderliche Zustellung eingestellt.

Insoweit entspricht die Schleifmaschine 10 der Fig. 1 dem Stande der Technik, wie er eingangs gewürdigt wurde.

Die Schleifmaschine 10 weist ferner ein Längenmeßgerät 25 auf, das in der Nähe des Nockens 15 raumfest angeordnet ist und während des Bearbeitungsvorganges arbeitet. Das Längenmeßgerät 25 verfügt über zwei Meßschnäbel 26, 27, die in der Darstellung der Fig. 1 von oben und von unten am Nocken 15 anliegen. Die Meßschnäbel 26, 27 vermögen dabei der Nockenform zu folgen, wie mit Doppelpfeilen in Fig. 1 angedeutet. Sie messen dabei jeweils den aktuellen Radius  $R$ . Bei der in Fig. 1 dargestellten Stellung des Nockens 15 mißt z.B. der obere Meßschnabel 26 einen Wert  $R_1$ , der fast dem maximalen Erhebungswert des Nockens 15 entspricht, während der untere Meßschnabel 27 einen Wert  $R_2$  mißt, der dem Grundkreisradius  $R_G$  des Nockens 15 im Grundkreisabschnitt 16 gleichkommt.

Die von den Meßschnäbeln 26, 27 ermittelten Meßwerte werden von Ausgängen des Längenmeßgerätes 25 an eine Minimalauswahl 30 weitergeleitet. Die Minimalauswahl 30 leitet jeweils nur den kleineren der beiden Meßwerte  $R_1$  oder  $R_2$  weiter. Da der Grundkreisabschnitt 16 einen Umfangswinkel von mehr als  $180^\circ$  überstreicht, liegt jeweils mindestens einer der Meßschnäbel 26 oder 27 am Grundkreisabschnitt 16 an, der zugleich den Bereich des minimalen Radius darstellt.

Demzufolge liegt am Ausgang der Minimalauswahl 30 immer ein Wert  $R_{Gist}$  an, der dem jeweiligen Ist-Wert des Grundkreisradius  $R_G$  entspricht.

In einem der Minimalauswahl 30 nachgeschalteten Komparator 35 wird nun dieser Wert  $R_{Gist}$  mit einem Soll-Wert  $R_{Gsoll}$  verglichen, der dem Komparator 35 über eine Klemme 36 von einer Steuerung zugeführt wird. Der Komparator 35 ermittelt damit die Abweichung des Ist-Wertes  $R_{Gist}$  vom Soll-Wert  $R_{Gsoll}$ , und die sich ergebende Abweichung ist in Fig. 1 mit  $\Delta R_G$  bezeichnet. Die Abweichung  $\Delta R_G$  wird nun einer dem Komparator 35 nachgeschalteten Schwellwertstufe 40 zugeführt.

Zur Erläuterung der Schwellwertstufe 40 darf hier auf Fig. 2 verwiesen werden.

In Fig. 2 ist die Abweichung  $\Delta R_G$  über der Zeit  $t$  während eines Bearbeitungsprozesses dargestellt.

Wie leicht einsehbar ist, nimmt die Abweichung

$\Delta R_G$  des Ist-Wertes  $R_{Gist}$  vom Soll-Wert  $R_{Gsoll}$  der gewünschten Fertigungskontur mit fortschreitender Bearbeitung, d.h. fortschreitender Zeit  $t$ , ab, wie mit einem Verlauf 50 in Fig. 2 dargestellt. Der Verlauf 50 erreicht im Verlaufe der Bearbeitung zunächst einen Punkt 51 und dann einen Punkt 52. Der Punkt 51 liegt dabei auf einer Trennlinie 53, die einen Schrupp-Bereich 54 von einem Schlicht-Bereich 55 trennt, wobei die Bearbeitungsschritte des Schruppens in Fig. 2 und in folgenden Figuren mit SR und des Schlichtens mit SL charakterisiert sind.

Um die Bereiche 54, 55 voneinander zu trennen, ist im Komparator 40 ein Schwellwert  $\Delta R_{GSR}$  abgelegt, während das Ende des Schlicht-Bereiches 55 durch einen Schwellwert  $\Delta R_{GSL}$  charakterisiert ist, der vorzugsweise gleich null ist.

Wenn nun der Verlauf 50 der Abweichung  $\Delta R_G$  den ersten Punkt 51 erreicht, also das Ende des Schrupp-Bereiches 54 erreicht wurde, erzeugt die Schwellwertstufe 40 ein erstes Signal  $S_1$ , während bei Erreichen des Punktes 52 am Ende des Schlicht-Bereiches 55 ein entsprechendes Signal  $S_2$  erzeugt wird.

Die Signale  $S_1$  und  $S_2$  werden vom Ausgang der Schwellwertstufe 40 auf einen Eingang einer speicherprogrammierbaren Steuerung 41 geleitet, die ihrerseits ein numerisches Steuergerät 42 der Schleifmaschine 10 steuert. Das numerische Steuergerät 42 ist mit Datenausgängen 43 und 44 für die Bewegungseinheiten der X-Achse, d.h. der ersten Achse 13, sowie der C-Achse, d.h. der zweiten Achse 18 verbunden.

Die Wirkungsweise der Signale  $S_1$  und  $S_2$  auf das Steuergerät 42 wird weiter unten anhand der Fig. 5 bis 9 noch näher beschrieben werden.

Fig. 3 zeigt nochmals in vergrößerter Darstellung den Nocken 15 in Seitenansicht. Der Nocken 15 ist dabei im unbearbeiteten Zustand dargestellt, so daß am Umfang mit 60 eine Rohkontur vorhanden ist. Mit 61 ist eine Zwischenkontur bezeichnet, die im Verlaufe des Schleifprozesses als Zwischenergebnis erzeugt wird. 62 bezeichnet schließlich eine Fertigungskontur, d.h. die Kontur des fertig bearbeiteten Nockens mit den gewünschten Abmessungen.

Es versteht sich, daß die Darstellung der Fig. 3 und ebenso die der nachfolgenden Fig. 4 nur äußerst schematisch zu verstehen ist und daß die angegebenen Abmessungen zur Veranschaulichung übertrieben dargestellt sind. Es versteht sich ferner, daß zwischen Rohkontur 60 und Fertigungskontur 62 eine Vielzahl von Zwischenkonturen 61 vorhanden sind, von denen der Übersichtlichkeit halber jedoch nur eine dargestellt ist.

Mit 63 ist in Fig. 3 ein Anfangspunkt bezeichnet, an dem die Schleifscheibe erstmalig am dargestellten Rohling angreift, wie mit einem Pfeil 64 symbolisiert. Ausgehend vom Anfangspunkt 63

folgt der aktuelle Eingriffspunkt, der in Fig. 1 mit 20 bezeichnet wurde, einer spiralartigen Bahn 65, die sich mit zunehmender Zustellung von der Rohkontur 60 entfernt und sich an die erste Zwischenkontur 61 annähert, um dort einen Zwischenpunkt 66 zu erreichen. Der Zwischenpunkt 66 hat vom Anfangspunkt 63 einen radialen Abstand, der dem Aufmaß zwischen der Rohkontur 60 und der ersten Zwischenkontur 65 entspricht.

Nach mehrmaligem Wiederholen derartiger spiralartiger Bahnen 65 wird schließlich die Fertigungskontur 62 erreicht.

Üblicherweise werden zum Bearbeiten eines Nockens 15 zunächst mehrere derartige Schritte (spiralartige Bahnen 65) im Schrupp-Betrieb mit verhältnismäßig großer Zustellung und alsdann weitere mehrere Schritte im Schlicht-Betrieb mit entsprechend kleinerer Zustellung ausgeführt.

Fig. 4 zeigt entsprechende Verhältnisse für den Fall eines Polygon-Profils 70, wie es z.B. für Drehmoment-Verbindungen zwischen Wellen und Naben oder Spindeln und Werkzeugen verwendet wird.

In Fig. 4 bezeichnet 71 eine Rohkontur, 72 eine Zwischenkontur und 73 eine Fertigungskontur. Die Schleifscheibe beginnt ihre Bearbeitung an einem Anfangspunkt 74, wie mit einem Pfeil 75 symbolisiert und folgt dann wiederum einer spiralartigen Bahn 76 zu einem Zwischenpunkt 77 auf der Zwischenkontur 72.

Abgesehen von der unterschiedlichen Form des Werkstücks entsprechen die Verhältnisse dabei denjenigen der Fig. 3.

In Fig. 5 ist ein Diagramm aufgetragen, das die Abhängigkeit der für aufeinanderfolgende Schritte eingestellten Zustellung  $\Delta X$  von der Zeit  $t$  während eines Bearbeitungsvorganges darstellt.

Man erkennt in Fig. 5 deutlich eine Treppenkurve 80, wodurch ausgesagt ist, daß die Zustellung von Bearbeitungsschritt zu Bearbeitungsschritt, d.h. jeweils von Umdrehung zu Umdrehung des Werkstücks, stufenweise verändert wird. Dabei ist "stufenweise" indes so zu verstehen, daß die Zustellung während eines Bearbeitungsschrittes, d.h. während einer Umdrehung des Werkstücks, nur insoweit verstellt werden kann, als der für den Bearbeitungsschritt gewünschte Betrag der Zustellung während einer relativ kurzen Zeitspanne, d.h. über einen nur sehr kleinen Winkelbereich der Drehung des Werkstücks eingestellt wird. So ist es z.B. beim Nockenschleifen bekannt, die gesamte Zustellung durch Verfahren der Schleifscheibe 11 einzustellen, wenn sich die Schleifscheibe im Eingriff am Grundkreisabschnitt 16 des Nockens 15 befindet.

Andererseits kann man aber auch, wie in Fig. 5 gestrichelt dargestellt, die Zustellung kontinuierlich oder quasi-kontinuierlich einstellen, in welchem Fal-

le dann über den gesamten Umfang des Werkstücks eine kontinuierliche Verrechnung der jeweiligen Zustellungsinckremente mit den Koordinaten des zu erzeugenden Profils vorgenommen werden muß.

Man erkennt in Fig. 5 wiederum Bereiche 54' und 55' für das Schruppen SR bzw. das Schlichten SL. Man erkennt ferner, daß die jeweils eingestellte Zustellung  $\Delta X$  für einen Bearbeitungsschritt dem Betrage nach nicht konstant ist. Vorzugsweise wird die für aufeinanderfolgende Bearbeitungsschritte gewünschte Zustellung immer kleiner eingestellt und während des Schruppens naturgemäß erheblich größer als während des Schlichtens. Fig. 5 zeigt hierzu als Beispiel einen Zustellungsbetrag  $\Delta_1 X$  für den ersten Bearbeitungsschritt, d.h. die erste Umdrehung des Werkstücks, einen kleineren Zustellungsbetrag  $\Delta_4 X$  für den vierten Bearbeitungsschritt, immer noch während des Schruppens SR, und schließlich einen wesentlich kleineren Zustellungsbetrag  $\Delta_{10} X$ , der bereits einen Bearbeitungsschritt während des Schlichtens SL betrifft.

In Fig. 6 ist in schematisierter Form dargestellt, wie Datensätze für aufeinanderfolgende Bearbeitungsschritte erzeugt werden.

In Fig. 6 bezeichnet 85 einen Profilspeicher, der ein sogenanntes Grundprofil enthält. Dieses Grundprofil kann in kartesischen Koordinaten, in Polarkoordinaten oder in den Koordinaten der beiden Achsen 13, 18 abgelegt sein. Zwischen diesen diversen Koordinaten kann bei Bedarf eine Koordinatentransformation durch an sich bekannte Methoden durchgeführt werden.

Betrachten wir nun in Fig. 6 den Fall, daß im Profilspeicher 85 das Grundprofil in den Koordinaten C und X der beiden Achsen 13, 18 der Schleifmaschine 10 abgelegt ist, so kann in einem Zustellungsspeicher 86 eine Zustellung  $\Delta X$  für aufeinanderfolgende Bearbeitungsschritte abgespeichert sein.

Mittels einer logischen Verknüpfung 87 kann nun das im Profilspeicher 85 abgelegte Grundprofil für jeden der aufeinanderfolgenden Bearbeitungsschritte umgerechnet werden, so daß ein zweiter Profilspeicher 88 entsteht, in dem modifizierte Profile  $C^*$ ,  $X^*$  abgelegt sind. Im einfachsten Falle geschieht dies dadurch, daß die C-Koordinaten unverändert aus dem ersten Profilspeicher 85 übernommen werden, während die X-Koordinaten lediglich um den gewünschten Zustellbetrag  $\Delta X$  für den jeweiligen Bearbeitungsschritt additiv verändert werden.

Am Ende des in Fig. 6 symbolisierten Vorganges befinden sich im weiteren Profilspeicher 88 so viele Datensätze, wie dies den gewünschten Schritten für das vorliegende Schleifverfahren entspricht.

Fig. 7 zeigt nun ein Flußdiagramm 90 zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

In Fig. 90 sind mit 91/1..., 91/4, 91/5..., 91/n Blöcke bezeichnet, die den einzelnen Bearbeitungsschritten bzw. Datensätzen C, X im Schrupp-Bereich 54" entsprechen. 91/n+1..., 91/n+3, 91/n+4..., 91/n+m bezeichnen demgegenüber Blöcke bzw. Datensätze für die Bearbeitungsschritte im Schlicht-Bereich 55".

Am Ende des Schlicht-Bereiches 95" schließt sich ein mit 92 bezeichneter Block an, der das Ausfahren des Werkstücks aus der Schleifmaschine 10 symbolisiert.

Bei der in Fig. 7 dargestellten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens sind die Anzahlen n bzw. m für die Schrupp- bzw. Schlicht-Schritte so groß bemessen, daß sie größer sind als die im ungünstigsten Falle für das jeweilige Werkstück erforderliche Anzahl von Bearbeitungsschritten. Dies bedeutet mit anderen Worten, daß dann, wenn man sämtliche n Schrupp-Schritte, sämtliche m Schlicht-Schritte abarbeiten würde, auch unter ungünstigsten Bedingungen immer ein Werkstück erzeugen würde, dessen Endmaße kleiner sind als die gewünschten.

Im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens werden nun jedoch die absoluten Abmessungen des Werkstücks kontinuierlich gemessen und nach jedem Bearbeitungsschritt in der in Fig. 1 dargestellten Weise überwacht.

Wenn sich nun herausstellt, daß nach einer bestimmten Anzahl von Schrupp-Schritten oder von Schlicht-Schritten das im jeweiligen Bereich 53" oder 55" vorgegebene Endmaß erreicht wurde, werden die Signale S<sub>1</sub> bzw. S<sub>2</sub> erzeugt.

Bei dem in Fig. 7 dargestellten Beispielsfall mag nach dem vierten Schrupp-Schritt 91/4 in der Schwellwertstufe 40 erkannt worden sein, daß die Abweichung  $\Delta R_G$  vom Endmaß der Fertigungskontur einen vorgegebenen Schwellwert  $\Delta R_{GSR}$  gerade erreicht bzw. unterschritten hat, wie in Fig. 2 durch den Punkt 51 angedeutet worden war. Demzufolge wird von der Schwellwertstufe 40 das Signal S<sub>1</sub> erzeugt.

Das Signal S<sub>1</sub> hat in der speicherprogrammierbaren Steuerung 41 und dem nachfolgenden CNC-Steuergerät 42 die Folge, daß im Flußdiagramm 90 der Fig. 7 ein Sprung 93 stattfindet, der den Verfahrensablauf nach Abarbeiten des vierten Schrupp-Schrittes 91/4 sogleich ans Ende des Schrupp-Bereiches 51" weiterführt, also die an sich vorgesehenen weiteren Schrupp-Schritte 91/5..., 91/n überspringt. Es wird alsdann sofort mit den Schlicht-Schritten 91/n+1... weitergefahren.

Wird nun z.B. nach dem dritten Schlicht-Schritt 91/n+3 erkannt, daß die Abweichung  $\Delta R_G$  des Grundkreisradius vom Soll-Maß  $R_{GSoll}$  der Fertigungskontur nur noch um den Schwellwert  $\Delta R_{GSL}$  abweicht, der vorzugsweise 0 ist, so wird in der Schwellwertstufe 40 das zweite Signal S<sub>2</sub> erzeugt,

mit der Folge, daß der in Fig. 7 dargestellte zweite Sprung 94 ans Ende des Schlicht-Bereiches 55" ausgeführt wird. Die weiteren vorgesehenen Schlicht-Schritte 91/n+4..., 91/n+m entfallen somit, und das fertig bearbeitete Werkstück wird sogleich ausgefahren.

Diese Einleitung der Sprünge 93 bzw. 94 ist in Fig. 8 nochmals anhand einer Ausschnittsvergrößerung des Flußdiagramms 90 im Schrupp-Bereich 54" dargestellt.

Man erkennt, daß nach Abarbeiten eines Schrupp-Schrittes 91/i mit dem Datensatz C<sub>1</sub>, X<sub>1</sub> in einem Block 97 die aktuelle Abweichung  $\Delta i R_G$  vom Soll-Wert des Grundkreisradius  $R_{GSoll}$  abgerufen wird, die am Ausgang des Komparators 35 ansteht.

In einem Entscheidungsblock 98 wird nun verglichen, ob diese Abweichung  $\Delta i R_G$  noch größer ist als der Soll-Wert  $\Delta R_{GSR}$ . Wenn dies der Fall ist, wird mit dem nachfolgenden Schrupp-Schritt 91/i+1 fortgefahren. Ist dies nicht der Fall, wurde also der Schwellwert  $\Delta R_{GSR}$  bereits erreicht, so wird der Sprung 93 zum ersten Schlicht-Schritt 91/n eingeleitet.

Es versteht sich, daß das in den Fig. 7 und 8 dargestellte Flußdiagramm 90 nur ein Beispiel von mehreren Möglichkeiten ist. So kann man beispielsweise statt einer sehr großen Anzahl von Blöcken 91, die größer ist als die maximal erforderliche Anzahl, auch eine kleinere, begrenzte Anzahl von Blöcken vorsehen, die am Ende nach Art einer Schleife mit beliebig vielen Wiederholungen des jeweils letzten Schrittes gestaltet ist. Dieser jeweils letzte Schritt wäre mit einem relativ kleinen Zustellbetrag auszustatten und so oft abzarbeiten, bis im Komparator 35 mit nachfolgender Schwellwertstufe 40 das Erreichen eines Grenzwertes erkannt wurde, um dann weitere Wiederholungen zu unterdrücken.

## 40 Patentansprüche

1. Verfahren zum Umfangsschleifen von radial unrundern Werkstücken (15; 70), bei dem das Werkstück (15; 70) um eine erste Achse (18) gedreht wird und eine Schleifscheibe (11) entlang einer zweiten Achse (13), die mit der ersten Achse (18) einen Winkel von vorzugsweise 90° einschließt, zugestellt wird, wobei das Werkstück (15; 70) an seiner Oberfläche, ausgehend von einer Rohkontur (60; 71) entlang von spiralartigen Bahnen (65; 76) eines Eingriffspunktes (20) in einer Mehrzahl von jeweils einer Umdrehung des Werkstücks (15; 70) entsprechenden Schritten zu Zwischenkonturen (61; 72) und schließlich zu einer Fertigungskontur (62; 73) abgetragen wird, indem das Werkstück (15; 70) und die Schleifscheibe (11) in Abhängigkeit von Datensätzen in vorbe-

- stimmter Weise gedreht bzw. zugestellt werden, wobei jeweils nach Erreichen einer Zwischenkontur (61; 72) ein neuer Datensatz für die folgende Umdrehung des Werkstücks aufgerufen wird, und bei dem eine vorbestimmte absolute Abmessung ( $R_{Gist}$ ) des Werkstücks (15; 70) kontinuierlich gemessen und eine Abweichung ( $\Delta R_G$ ) von einem Soll-Wert ( $R_{Gsoll}$ ) ermittelt wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Abweichung ( $\Delta R_G$ ) mit Schwellwerten ( $\Delta R_{GSR}$ ,  $\Delta R_{GSL}$ ) verglichen wird und daß bei Unterschreiten der Schwellwerte ( $\Delta R_{GSR}$ ,  $\Delta R_{GSL}$ ) eine vorbestimmte Anzahl von Schritten übersprungen wird.
- 5
- 10
- 15
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine erste Mehrzahl von Schrapp-Schritten (91/1-91/n) und eine nachfolgende zweite Mehrzahl von Schlicht-Schritten (91/n+1-91/n+m) vorgesehen sind, und daß bei Unterschreiten eines Schwellwertes ( $\Delta R_{GSR}$ ) während eines Schrapp-Schrittes (91/4) alle weiteren Schrapp-Schritte (91/5-91/n) übersprungen werden.
- 20
- 25
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine Mehrzahl von Schlicht-Schritten (91/n+1-91/n+m) und ein nachfolgender Ausfahrsschritt (92) vorgesehen sind, und daß bei Unterschreiten des Schwellwertes ( $\Delta R_{GSL}$ ) während eines Schlicht-Schrittes (91/n+3) alle weiteren Schlicht-Schritte (91/n+4-91/n+m) übersprungen werden.
- 30
- 35
4. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß während einiger der Mehrzahl von Schritten ein endlicher Betrag einer Zustellung ( $\Delta X$ ) vorgegeben wird, und daß der Betrag für zeitlich aufeinanderfolgende Schritte unterschiedlich bemessen wird.
- 40
- 45
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Betrag der Zustellung ( $\Delta X$ ) für zeitlich aufeinanderfolgende Schritte abnimmt.
- 50
- 55
6. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß eine Mehrzahl von Schritten vorgesehen wird, die größer ist als die im ungünstigsten Fall für das jeweilige Werkstück (15; 70) erforderliche Anzahl, und daß bei Unterschreiten der Schwellwerte ( $\Delta R_{GSR}$ ,  $\Delta R_{GSL}$ ) die noch nicht abgearbeiteten Schritte übersprungen werden.
7. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß

eine Mehrzahl von Schritten vorgesehen wird, bei der die letzten Schritte durch eine Wiederholung eines bestimmten Schrittes gebildet werden, und daß bei Unterschreiten der Schwellwerte ( $\Delta R_{GSR}$ ,  $\Delta R_{GSL}$ ) eine Wiederholung abgebrochen wird.

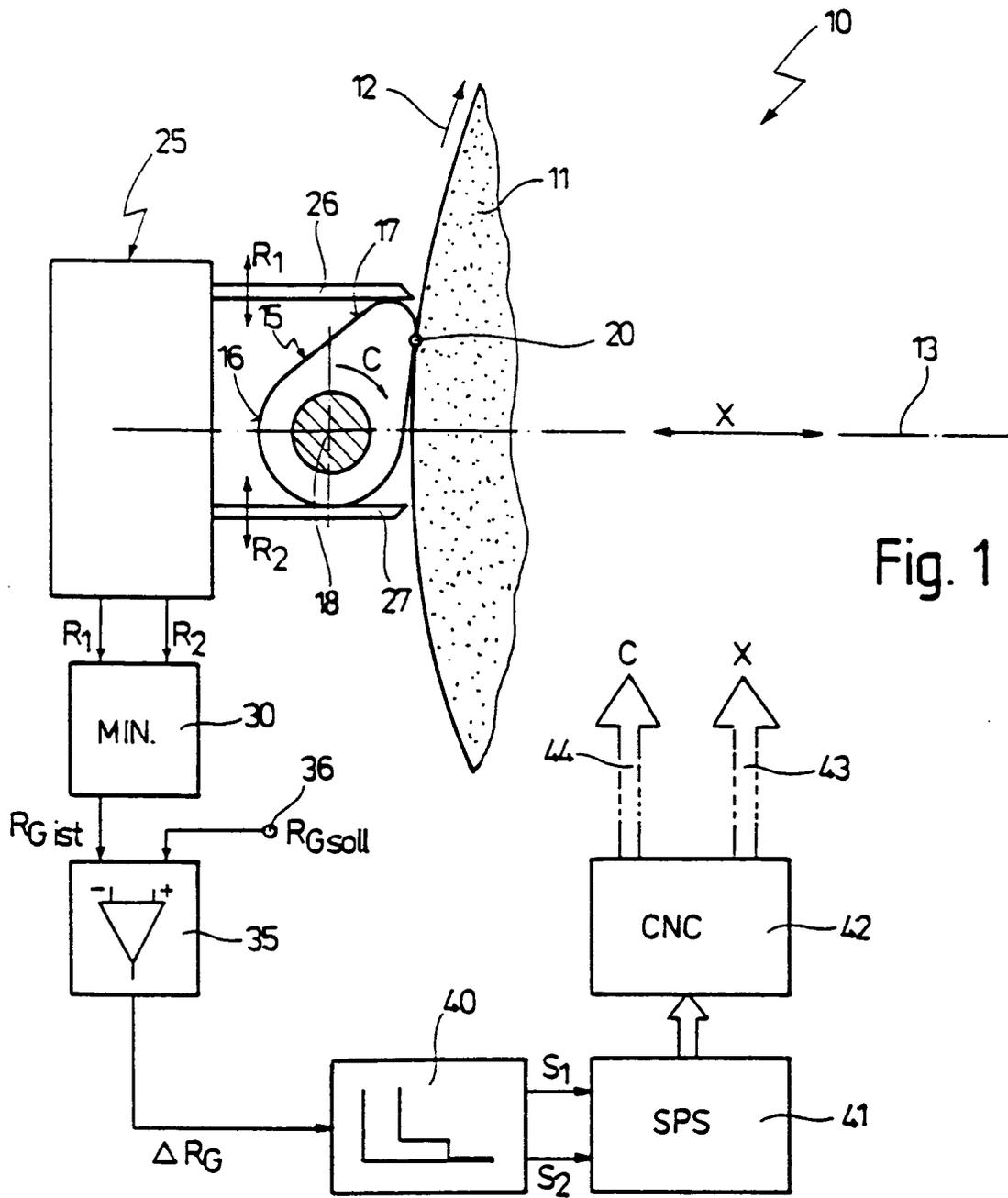
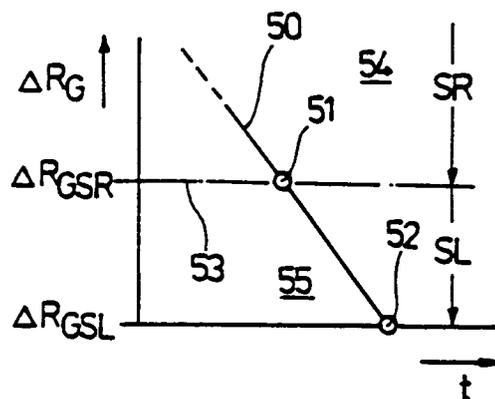


Fig. 2



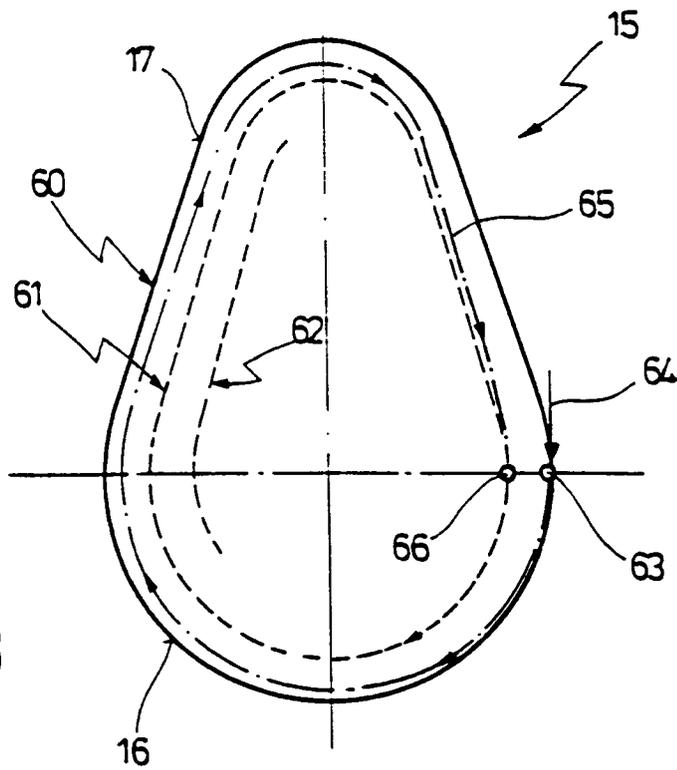


Fig. 3

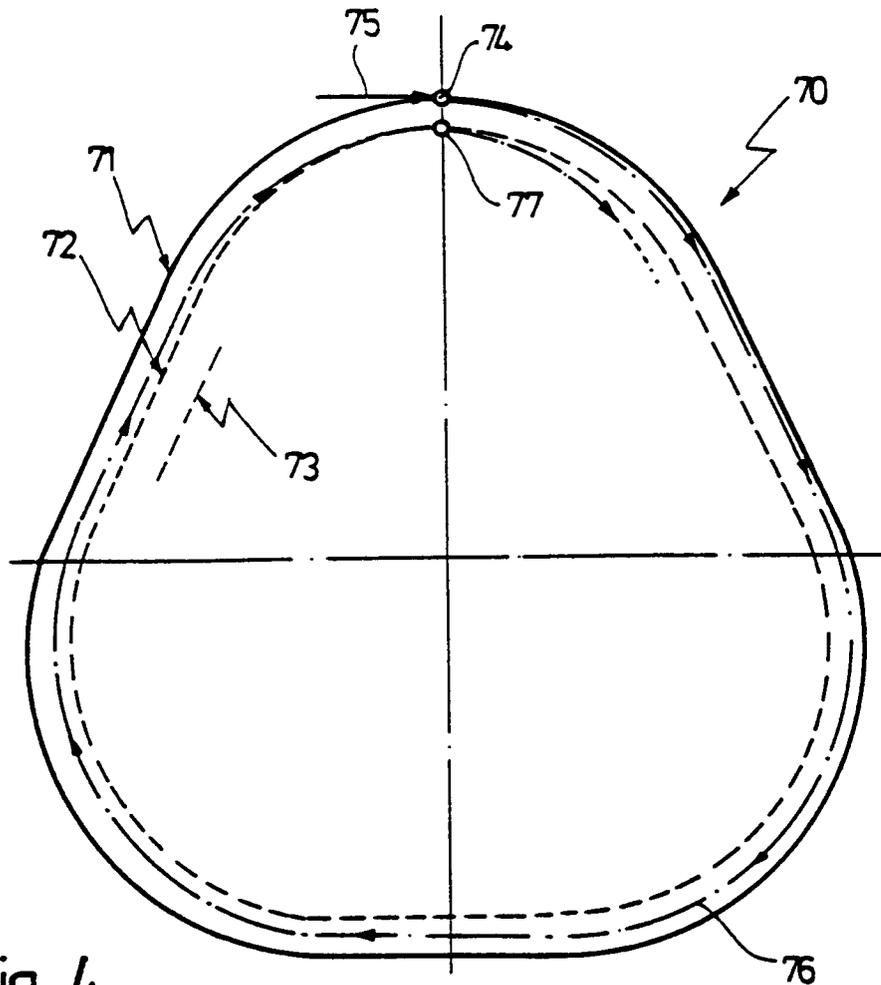


Fig. 4

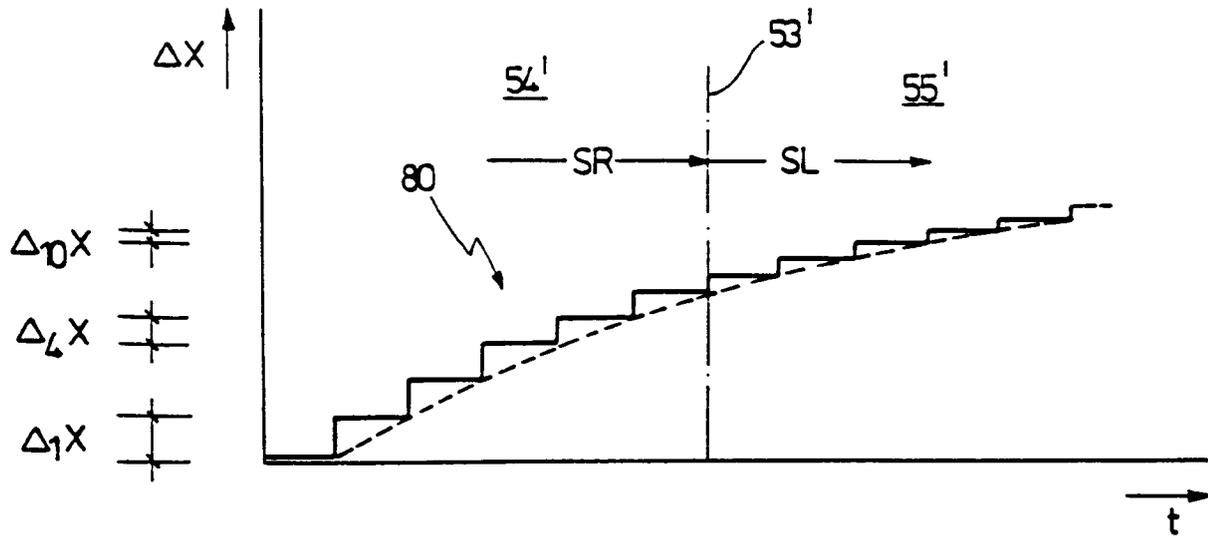


Fig. 5

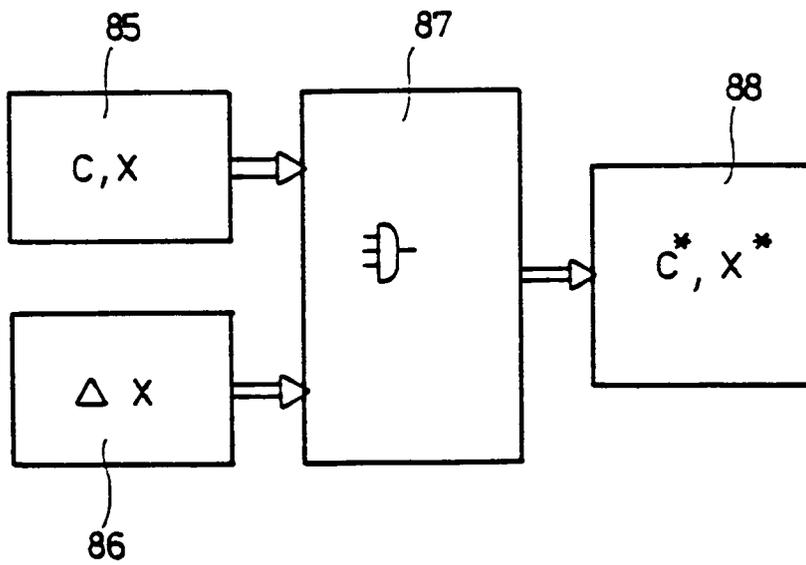


Fig. 6

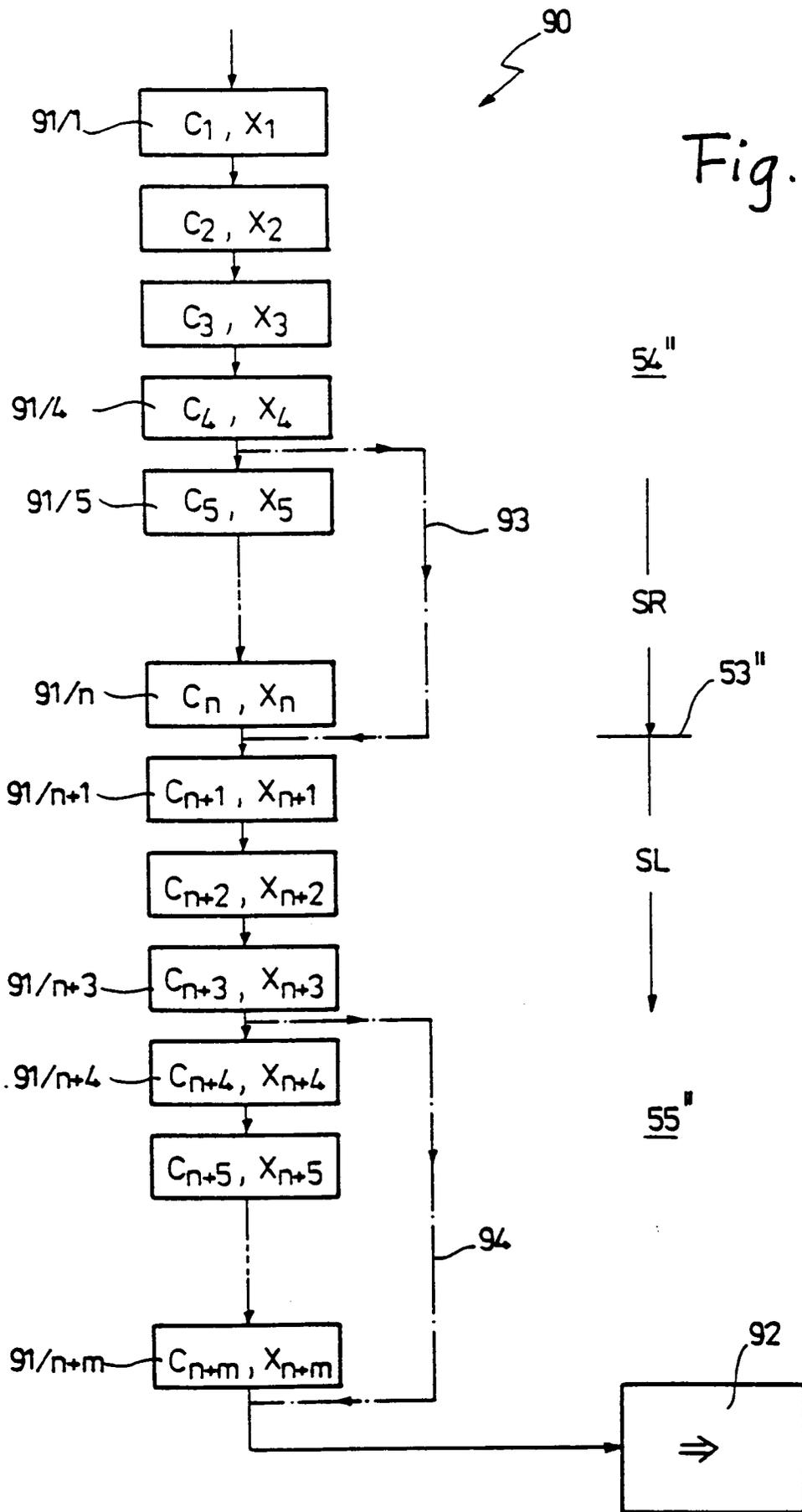


Fig. 7

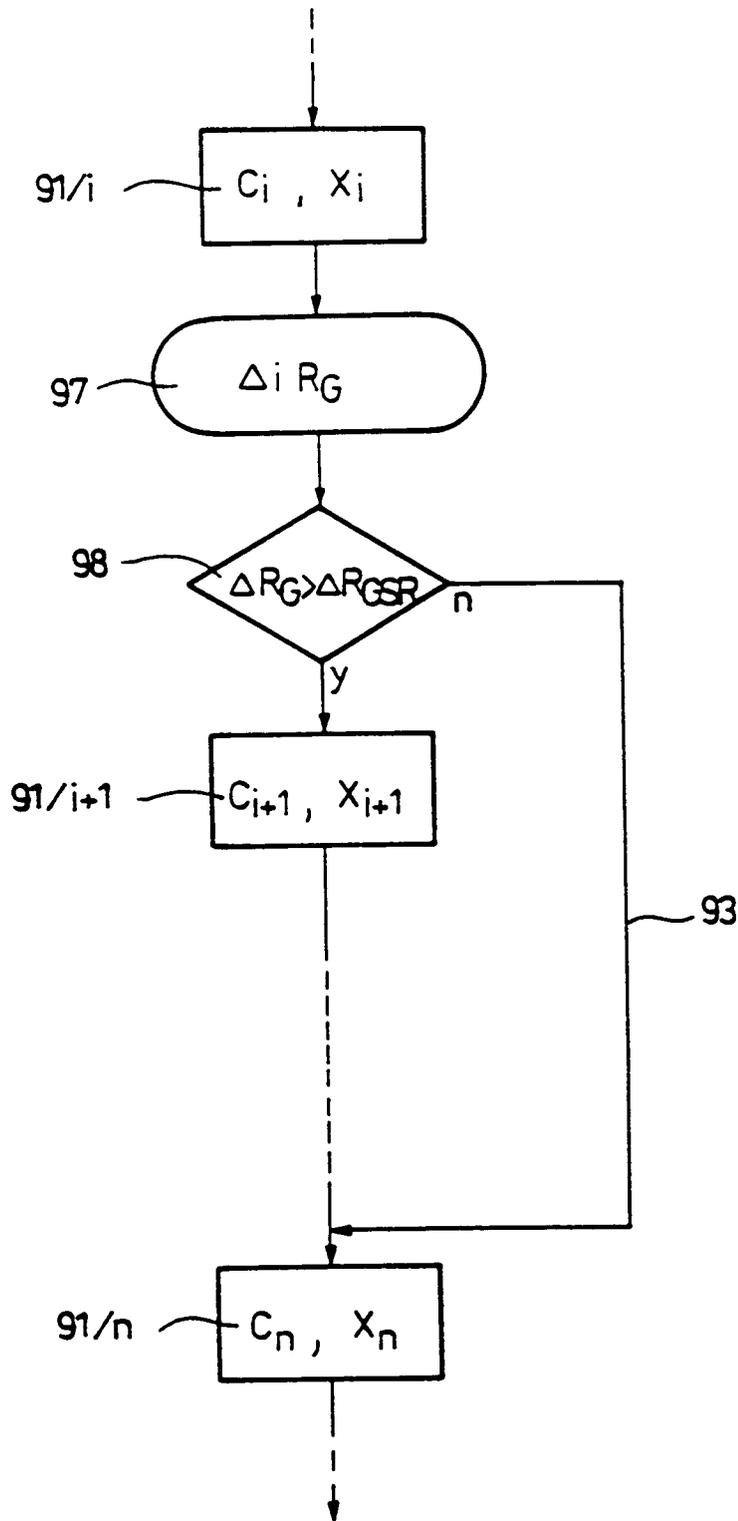


Fig. 8