



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑤ Int. Cl.³: B 23 P 1/10
B 24 B 21/02
C 25 F 3/16

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

⑫ **PATENTSCHRIFT** A5

⑪

644 540

⑳ Gesuchsnummer: 1484/80

㉔ Anmeldungsdatum: 25.02.1980

㉖ Priorität(en): 24.02.1979 JP 54-20919
27.03.1979 JP 54-36618
02.05.1979 JP 54-55086
02.05.1979 JP 54-55087
15.08.1979 JP 54-104315
15.08.1979 JP 54-104313
15.08.1979 JP 54-104314

㉘ Patent erteilt: 15.08.1984

㉚ Patentschrift veröffentlicht: 15.08.1984

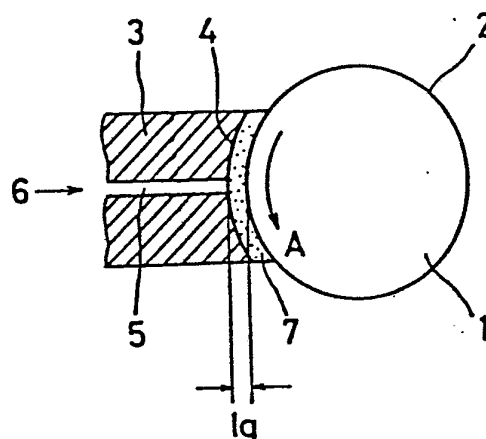
㉛ Inhaber:
Hitachi Shipbuilding & Engineering Company
Limited, Osaka (JP)

㉜ Erfinder:
Yasuo Kimoto, Fujiidera-shi/Osaka-fu (JP)
Katsunori Tamiya, Kobe-shi/Hyogo-ken (JP)
Shoichi Honda, Osaka-shi/Osaka-fu (JP)
Hidehiko Maehata, Toyonaka-shi/Osaka-fu (JP)
Hiroshi Kamada, Takatsuki-shi/Osaka-fu (JP)

㉞ Vertreter:
Bovard AG, Bern 25

⑤④ **Verfahren und Vorrichtung zum Hochglanzpolieren eines zylindrischen Werkstückes.**

⑤⑦ Ein zylindrisches Werkstück (1) mit der zu polierenden Oberfläche (2) ist mit der Anode einer Stromversorgung verbunden. Eine Bearbeitungselektrode (3) ist mit der Kathode der Stromversorgung verbunden und weist eine Öffnung (5) zur Zuführung eines Elektrolyten auf. Ein Schleifmittel (7) ist zwischen der Elektrode (5) und der äusseren Oberfläche des Werkstückes (1) angeordnet. Mit dieser Anordnung wird ein Seigerungsprozess mit mechanischem Abschleifen kombiniert. Es kann eine Oberflächenrauigkeit von $0,1 \mu\text{mR}_{\text{max}}$ erhalten werden. Es ist nicht erforderlich, die Endbearbeitung zu unterbrechen, um das Schleifmittel auszuwechseln, wobei eine einheitliche Hochglanzpolitur mit hohem Wirkungsgrad und niedrigen Kosten erzielt werden kann.



PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Hochglanzpolieren eines zylindrischen Werkstückes mit einem an jeder Lücke zwischen einem mit der Anode einer Stromversorgung verbundenen zylindrischen Werkstück (1) und mit der Kathode der Stromversorgung verbundenen Arbeitselektroden (3) angeordneten Schleifmittel und dieser Lücke zugeführten Elektrolyten, welche Elektroden die gegenüber der äusseren Oberfläche oder der inneren Oberfläche des zylindrischen Werkstückes (1) angeordnet sind, wobei ein durch Elektrolyse am Metall in der zu behandelnden Oberfläche des zylindrischen Werkstückes (1) durchgeführter anodischer Seigerungsprozess durch einen Schleifprozess unterstützt wird, durch welchen anodische passive, auf der zu behandelnden Oberfläche erzeugte Filme mechanisch durch die Schleifmittel (7) abgeschliffen werden, wobei bevorzugt die abstehenden Teile der zu behandelnden Oberfläche elektrolytisch geseigert und abgeschliffen werden, dadurch gekennzeichnet, dass

ein Elektrolyt (6) in einem passiven Zustand verwendet wird,

eine an den Elektrolyten gelegte Spannung im Bereich von einigen Volt bis 15 Volt liegt,

die Dichte eines durch den Elektrolyten fliessenden Stromes 10 A/cm^2 oder weniger beträgt,

das Schleifmittel (7) wasserdurchlässig ist, der Druck des Schleifmittels (7) auf die zu behandelnde Oberfläche $0,5 \times 10^5 \text{ Pa}$ oder mehr beträgt,

die Schleifgeschwindigkeit des Schleifmittels (7) 2 m/s oder mehr beträgt, und

der Zyklus, bei dem ein Teil der zu behandelnden Oberfläche den Arbeitselektroden (3) gegenüberliegt, im Bereich von 20 bis 200 ms liegt.

2. Verfahren zum Hochglanzpolieren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberflächen (4) der Arbeitselektroden (3) gekrümmte Flächen sind und im wesentlichen der zu behandelnden, gekrümmten Oberfläche eines zylindrischen Werkstückes (1) entsprechen.

3. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Patentanspruch 1, gekennzeichnet durch

ein zylindrisches mit der Anode einer Stromversorgung verbundenes Werkstück (11);

gegenüber dem zylindrischen Werkstück (11) angeordnete Arbeitselektroden (14), die mit der Kathode der Stromversorgung verbunden sind, wobei die Oberflächen (15) der Arbeitselektroden (14) gekrümmte Flächen sind, die im wesentlichen der zu behandelnden gekrümmten Oberfläche des zylindrischen Werkstückes (11) entsprechen;

bandförmige Schleifmittel (24), die zwischen der zu behandelnden Oberfläche und jeder der Elektrodenfläche (15) angeordnet sind und in Kontakt mit der zu behandelnden Fläche stehen;

ein Schleifmittel-Zuführmechanismus zur Bewegung des bandförmigen Schleifmittels (24) in bezug auf die zu behandelnde Oberfläche;

einen der Lücke zwischen jeder der Elektrodenoberflächen und der zu behandelnden Oberfläche zuzuführenden Elektrolyten in einem passiven Zustand;

einen Schwenkmechanismus zum relativen Verschwenken der Arbeitselektroden (14) und der zu behandelnden Oberfläche des zylindrischen Werkstückes (11) zueinander in der Umfangsrichtung des zylindrischen Werkstückes und

ein Fahrwerk zur relativen Bewegung der Arbeitselektroden (14) und der zu behandelnden Oberfläche des zylindrischen Werkstückes (11) zueinander in der axialen Richtung des zylindrischen Werkstückes.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektrodenoberfläche (15) der Arbeitselektroden (14) konkav gekrümmte Flächen sind und einen Ra-

dius aufweisen, der etwas grösser ist als derjenige der äusseren Oberfläche (12) des zylindrischen Werkstückes (11);

dass der Zuführmechanismus für das Schleifmittel Schleifmittelhaspeln (23) umfasst, auf welche das bandförmige Schleifmittel (24) gewunden wird, Führungsrollen (16) zur Führung von den Schleifmittelhaspeln (23) entnommenen Schleifmittels (24) zu den Lücken zwischen jeder der Elektrodenoberflächen (15) und der äusseren Oberfläche (12) des zylindrischen Werkstückes (11) und Aufnahmerollen (25) zur Aufnahme des Schleifmittels (24) umfasst; und der Schwenkmechanismus zur Rotation des zylindrischen Werkstückes (11) ausgebildet ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektrodenoberflächen (30) der Arbeitselektroden (29) in konvex gekrümmte Oberflächen geformt sind, welche einen Radius aufweisen, der etwas kleiner ist als derjenige der inneren Oberfläche (31) des zylindrischen Werkstückes (26);

dass der Schwenkmechanismus eine mit der Achse des zylindrischen Werkstückes (26) zusammenfallende Welle (27) und einen zur Rotation um die Welle (27) bestimmten Rahmen (28) umfasst, der an seinen Enden mit den Arbeitselektroden (29) versehen ist;

und dass das Fahrwerk so konstruiert ist, dass es den Schwenkmechanismus in axialer Richtung des zylindrischen Werkstückes (26) bewegt.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Zuführmechanismus für das Schleifmittel die auf dem Rahmen (28) montierten Schleifmittelhaspeln (34) umfasst, auf welche die Schleifmittel (35) gewunden werden, und durch die Welle (27) rotierte Drehelemente (32) vorgesehen sind, die zum Aufwinden der Schleifmittel (35) dienen, welche von den Schleifmittelhaspeln (34) entnommen und den Elektrodenoberflächen (30) zugeführt wurden.

7. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass eine Mehrzahl von Arbeitselektroden (38) am Rahmen (37) angeordnet ist, und das Schleifmittelband (43) in einer endlosen Art und Weise auf den entsprechenden Elektrodenoberflächen (39) der Mehrzahl von Arbeitselektroden (38) aufgewunden ist,

dass der Schleifmittel-Zuführmechanismus am Rahmen (37) montierte Rollen (40) umfasst, die das Schleifmittel an die Welle drücken, und

dass Schleifmittel (43) periodisch auf die Mehrzahl von Arbeitselektroden (38) bewegt wird.

8. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Drehelemente (50) rotierbar am Rahmen (46) montiert sind,

und Schleifmittelbänder (53) in einer endlosen Art und Weise auf die Drehelemente und die Elektrodenoberflächen der Arbeitselektroden gewunden sind, und

die Schleifmittelbänder (53) durch die Drehelemente (50) an die Welle (45) gepresst werden, so dass die Schleifmittelbänder (53) gleichzeitig mit dem Verschwenken der Arbeitselektroden (47) umlaufen.

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Hochglanzpolieren eines zylindrischen Werkstückes mit einem an jeder Lücke zwischen einem mit der Anode einer Stromversorgung verbundenen zylindrischen Werkstück und mit der Kathode der Stromversorgung verbundenen Arbeitselektroden angeordneten Schleifmittel und dieser Lücke zugeführten Elektrolyten, welche Elektroden, die gegenüber

der äusseren Oberfläche oder der inneren Oberfläche des zylindrischen Werkstückes angeordnet sind, wobei ein durch Elektrolyse am Metall in der zu behandelnden Oberfläche des zylindrischen Werkstückes durchgeführter anodischer Seigerungsprozess durch einen Schleifprozess unterstützt wird, durch welchen anodische passive, auf der zu behandelnden Oberfläche erzeugte Filme mechanisch durch die Schleifmittel abgeschliffen werden, wobei bevorzugt die abstehenden Teile der zu behandelnden Oberfläche elektrolytisch geseigert und abgeschliffen werden.

Im weiteren bezieht sich die Erfindung auf eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Bisher wurde die äussere oder die innere Oberfläche eines zylindrischen Werkstückes aus rostfreiem Stahl, unlegiertem Kohlenstoffstahl, nichteisenhaltigen Metallen usw. durch Drehen oder Schleifen hochglanzpoliert, wobei eine hochpräzise Drehbank oder Schleifmaschine mit Diamantwerkzeugen verwendet wurde. Bei diesem Verfahren war die durch die Werkzeuge zu entfernende Metallmenge im Werkstück extrem klein und die Poliergeschwindigkeit war deshalb niedrig. Da die mechanische Präzision, wie die Biegung des Werkzeugmaschinenhauptkörpers oder die thermische Verformung eines Werkstückes direkt einen Einfluss auf die Bearbeitungspräzision ausgeübt hat, war es erforderlich, besondere Massnahmen vorzusehen, um die Bearbeitungspräzision bis zu einem vorbestimmten Grad aufrechtzuerhalten. Aus dem oben dargelegten ergibt sich, dass die bekannten Verfahren nicht besonders geeignet zum Hochglanzpolieren von grossen zylindrischen Werkstückchen waren.

Aus diesem Grunde wurden grosse zylindrische Werkstücke mit einem Handpolierwerkzeug poliert. Bei diesem Verfahren war nicht nur der Arbeitswirkungsgrad niedrig, sondern es war auch schwierig, eine saubere, fertige Oberfläche mit hoher Präzision und einen Polierbetrieb mit niedrigen Kosten zu erhalten.

Es wurde auch elektrolytisches Polieren vorgeschlagen. Da aber gewöhnliches elektrolytisches Polieren einen Elektrolyten einer starken Säure erfordert, war der Arbeitswirkungsgrad klein. Ausserdem waren mechanische Vorrichtungen notwendig.

Es wurde auch ein Verfahren vorgeschlagen, gemäss welchem ein wasserdurchlässiges Schleifmittel an der Lücke zwischen den Arbeitselektroden und der äusseren zu behandelnden Oberfläche des zylindrischen Werkstückes angeordnet und ein Elektrolyt zu dieser Lücke zugeführt wurde, wobei das zylindrische Werkstück rotiert und ein Gleichstrom oder eine pulsierende Spannung der Lücke zwischen den Arbeitselektroden und dem zylindrischen Werkstück zur Erzeugung anodischer, passiver Filme auf der zu behandelnden Oberfläche zugeführt wurde, wobei die abstehenden Teile der zu behandelnden Oberfläche durch Schleifwirkung und elektrolytische Seigerung entfernt wurden. Gemäss diesem Verfahren wurde das Endbearbeitungs-Vermögen des Schleifmittels mit der Zeit herabgesetzt, was die Unzulänglichkeit des Betrages der Fertigbearbeitung der zu behandelnden Oberflächen zur Folge hat. Es wurde vorgeschlagen, ein gebrauchtes Schleifmittel durch ein neues zu ersetzen, wobei der Endbearbeitungsvorgang unterbrochen werden müsste. In diesem Fall hätte ein Ansteigen der Endbearbeitungskräfte als Folge des Auswechselns des Schleifmittels das Entstehen übermässiger Endbearbeitungs-Spuren auf der zu behandelnden Oberfläche zur Folge, wobei eine gleichmässig bearbeitete Oberfläche nicht erhalten werden könnte. Zusätzlich wurde der Bearbeitungswirkungsgrad herabgesetzt.

Bei allen hergebrachten Verfahren beträgt die minimale Oberflächenrauigkeit 0,2 bis 0,3 $\mu\text{mR}_{\text{max}}$, wobei es schwierig ist, eine gleichmässige Oberfläche mit einer Oberflächenrauigkeit von 0,1 $\mu\text{mR}_{\text{max}}$ oder weniger zu erhalten. Es ist

nicht möglich, eine Rundheit des zylindrischen Werkstückes von einigen wenigen μm oder weniger zu erhalten.

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Hochglanzpolieren von zylindrischen Werkstückchen zu schaffen, bei welchem anodische Seigerung durch Elektrolyse, die am Metall in der zu behandelnden Oberfläche ausgeführt wird, mit Abschleifen kombiniert wird, durch welches anodische, passive Filme die auf der zu behandelnden Oberfläche gebildet werden, mechanisch abgeschliffen und durch Schleifmittel, wie Schmirgeltücher, Schwabbel-scheiben oder Schleifkörner entfernt werden, um bevorzugt abstehende Teile der zu behandelnden Oberfläche elektrolytisch zu seigern und abzuschleifen, wobei die äussere oder innere Oberfläche des zylindrischen Werkstückes schnell, leicht und wirksam hochglanzpoliert werden kann, um eine Oberflächenrauigkeit von etwa 0,1 $\mu\text{mR}_{\text{max}}$ oder weniger mit einer Rundheit des zylindrischen Werkstückes von wenigen μm zu erhalten.

Es ist eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Vorrichtung zum Hochglanzpolieren eines zylindrischen Werkstückes zu schaffen, bei welcher der Endbearbeitungsbetrag eines Werkstückes nicht infolge Verschlechterung des Schleifmittels herabgesetzt wird und es nicht erforderlich ist, die Endbearbeitung zu unterbrechen, um das Schleifmittel zu ersetzen und eine einheitliche Hochglanzpolitur mit hohem Wirkungsgrad und niedrigen Kosten erzielt werden kann.

Dies wird erfindungsgemäss dadurch erzielt, dass ein Elektrolyt in einem passiven Zustand verwendet wird, eine an den Elektrolyten gelegte Spannung im Bereich von einigen Volt bis 15 Volt liegt, die Dichte eines durch den Elektrolyten fliessenden Stromes 10 A/cm² oder weniger beträgt, das Schleifmittel wasserdurchlässig ist, der Druck des Schleifmittels auf die zu behandelnde Oberfläche 0,5 x 10⁵ Pa oder mehr beträgt, die Schleifgeschwindigkeit des Schleifmittels 2 m/s oder mehr beträgt, und der Zyklus, bei dem ein Teil der zu behandelnden Oberfläche den Arbeitselektroden gegenüberliegt, im Bereich von 20 bis 200 ms liegt.

Entsprechend dem Verfahren der vorliegenden Erfindung können die äussere und die innere Oberfläche eines zylindrischen Werkstückes schnell, leicht und wirkungsvoll hochglanzpoliert werden, um eine Oberflächenrauigkeit von etwa 0,1 $\mu\text{mR}_{\text{max}}$ oder weniger mit einer Rundheit des zylindrischen Werkstückes von einigen wenigen μm zu erhalten.

Im folgenden werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der beiliegenden Zeichnung näher beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 einen teilweisen Querschnitt eines ersten Ausführungsbeispiels eines Werkzeuges, welches in einem Verfahren zum Hochglanzpolieren eines zylindrischen Werkstückes gemäss der vorliegenden Erfindung verwendet wird.

Fig. 2 eine charakteristische Kurve eines während dem Hochglanzpolieren fliessenden Stromes;

Fig. 3 eine charakteristische Kurve, welche die Beziehung zwischen der Oberflächenrauigkeit und dem Zyklus darstellt, wobei ein Teil der zu behandelnden Oberfläche gegenüber den Arbeitselektroden liegt;

Fig. 4 eine charakteristische Kurve, welche die Beziehung zwischen der Schleifgeschwindigkeit des Schleifmittels und der Oberflächenrauigkeit aufzeigt;

Fig. 5 eine charakteristische Kurve, welche die Beziehung zwischen der Druckkraft des Schleifmittels auf die zu behandelnde Oberfläche, der Lücke zwischen der zu behandelnden Oberfläche und der Elektrodenoberfläche und der Oberflächenrauigkeit zeigt;

Fig. 6 einen teilweisen Querschnitt eines zweiten Ausführungsbeispiels eines Werkzeuges, welches in einem Verfahren zum Hochglanzpolieren eines zylindrischen Werkstückes gemäss der vorliegenden Erfindung verwendet wird.

rungsbeispiels eines im Verfahren gemäss der vorliegenden Erfindung zu verwendenden Werkzeuges;

Fig. 7 eine Vorderansicht eines dritten Ausführungsbeispiels eines Werkzeuges;

Fig. 8 eine Seitenansicht des Werkzeuges gemäss Fig. 7;

Fig. 9 eine charakteristische Kurve eines während dem Hochglanzpolieren fliessenden Stromes, wobei das Werkzeug gemäss Fig. 7 verwendet wird;

Fig. 10 eine Vorderansicht eines vierten Beispiels eines gemäss der vorliegenden Erfindung zu verwendenden Werkzeuges;

Fig. 11 eine Vorderansicht eines Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung zum Hochglanzpolieren eines zylindrischen Werkstückes gemäss der vorliegenden Erfindung;

Fig. 12 eine Draufsicht auf die Vorrichtung gemäss Fig. 11, wobei Teile weggelassen sind;

Fig. 13 eine charakteristische Kurve, welche die Beziehung zwischen der Endbearbeitungszeit und der Entfernungsgeschwindigkeit darstellt;

Fig. 14 bis 19 Vorderansichten von weiteren sechs Ausführungsbeispielen einer Hochglanzpoliervorrichtung entsprechend der vorliegenden Erfindung.

Es soll zuerst das Verfahren zum Hochglanzpolieren eines zylindrischen Werkstückes erläutert werden. Aus Fig. 1 ist ein Ausführungsbeispiel eines Werkzeuges ersichtlich. Das zylindrische Werkstück 1 weist eine äussere Oberfläche 2, die hochglanzpoliert werden soll, auf und wird in Richtung des Pfeiles A durch einen passenden Antriebsmechanismus rotiert werden und ist mit der Anode einer Stromversorgung verbunden.

Eine Bearbeitungselektrode 3 ist der äusseren Oberfläche 2 des zylindrischen Werkstückes mit einer Distanz 1g benachbart angeordnet und mit der Kathode der Stromversorgung verbunden. Die Elektrodenoberfläche 4 der Arbeitselektrode 3 ist in einer konkav gekrümmten Oberfläche mit einem Radius, der etwas grösser ist als der Radius der äusseren Oberfläche 2 des zylindrischen Werkstückes 1 mit einer Distanz dazwischen angeordnet. Die Arbeitselektrode 3 weist eine Elektrolytzuführöffnung 5 auf, durch welche ein Elektrolyt 6 zugeführt wird und welche Öffnung sich in der Elektrodenoberfläche 4 befindet.

Ein wasserdurchlässiges Schleifmittel 7 mit elektrisch isolierenden Eigenschaften ist zwischen der Elektrodenoberfläche 4 und der äusseren Oberfläche 2 des zylindrischen Werkstückes 1 angeordnet. Das Schleifmittel 7 kann als Schmirgeltuch, als Schwabbel Scheibe oder Schleifkörner oder als Kombination derselben ausgebildet sein. Das Schleifmittel 7 verhindert einen Kurzschluss zwischen dem zylindrischen Werkstück 1 und der Elektrodenoberfläche 4 der Arbeitselektrode 3 und hält die elektrolytische Lücke dazwischen aufrecht. Es ist wünschenswert, dass das Schleifmittel 7 eine Dicke von 0,5 mm oder mehr aufweist.

Um das Schleifmittel 7 zwischen das zylindrische Werkstück 1 und die Elektrodenoberfläche 4 anzuordnen, kann das Schleifmittel 7 an einem passenden Teil der Elektrodenoberfläche 4 angebracht werden. Es können dem Elektrolyten 6 auch Schleifkörner beigemischt werden.

Die äussere Oberfläche 2 des zylindrischen Werkstückes 1 wird in solcher Weise hochglanzpoliert, dass die Elektrodenoberfläche 4 der Arbeitselektrode 3 gegenüber der äusseren Oberfläche 2 des zylindrischen Werkstückes 1 mit einer Distanz von 1 bis 2 mm dazwischen angeordnet ist und der Elektrolyt 6 zur Lücke zwischen der Elektrodenoberfläche 4 und der äusseren Oberfläche 2 des zylindrischen Werkstückes 1 durch die Zuführöffnung 5 der Arbeitselektrode 3 von einer äusseren Elektrolytzuführvorrichtung zugeführt wird. Das zylindrische Werkstück 1 wird darauf in Rotation ver-

setzt und das Schleifmittel 7 gegen die äussere Oberfläche 2 des zylindrischen Werkstückes 1 durch die Elektrodenoberfläche 4 gedrückt. Das zylindrische Werkstück 1 und die Arbeitselektrode 3 sind mit der Anode und der Kathode einer Elektrolytstromversorgung mit Gleich- oder pulsierendem Strom verbunden, wobei das zylindrische Werkstück oder die Arbeitselektrode 3 parallel zur Achse des zylindrischen Werkstückes bewegt werden. Es wird ein Elektrolyt in einem passiven Zustand wie z. B. 20%ige Natriumnitratlösung verwendet. Die elektrolytische Spannung beträgt einige Volt bis etwa 15 Volt, wobei die Stromdichte etwa 10 A/cm² oder weniger beträgt. Der Druck des Schleifmittels 7 auf die zu behandelnde Oberfläche beträgt 0,5 x 10⁵ Pa oder mehr. Die Geschwindigkeit des Schleifmittels 7 beträgt 2 m/s oder mehr. Ein Zyklus, bei welchem ein Teil der zu behandelnden Oberfläche gegenüber der Arbeitselektrode 3 befindlich ist, liegt innerhalb des Bereiches von 20 bis 200 ms.

Mit der oben erwähnten Anordnung wird anodische Seigerung durch Elektrolyse, die auf das Metall in der zu behandelnden Oberfläche angewandt wird mit Abschleifen kombiniert, wobei anodische, passive Überzüge auf der zu behandelnden Oberfläche erzeugte Überzüge mit Schleifmitteln mechanisch abgeschliffen und entfernt werden, so dass die vorspringenden Teile der zu behandelnden Oberfläche bevorzugt elektrolytisch geseigert und abgeschliffen werden, wobei die äussere Oberfläche eines zylindrischen Werkstückes leicht, schnell und wirkungsvoll hochglanzpoliert werden kann, so dass es eine Oberflächenrauigkeit von etwa 0,1 µmR_{max} und eine zylindrische Werkstück-Rundheit von einigen wenigen µm aufweist.

Der in einem Teil der zu behandelnden Oberfläche fließende Strom J variiert im Bereich von der Stromstärke J₁, wenn der genannte Teil gegenüber der Arbeitselektrode 3 liegt, zur Stromstärke J₂, wenn der genannte Teil nicht gegenüber der Arbeitselektrode 3 liegt, wie in Fig. 2 gezeigt. Infolge dieser Variation der Stromstärke J wird das Hochglanzpolieren wie folgt durchgeführt: Während der Periode, während welcher der Strom J₂ fliesst, wird ein anodischer, passiver Film auf den vorspringenden und konkaven Teilen des genannten Teiles der zu behandelnden Oberfläche gebildet. Wenn der genannte Teil der zu behandelnden Oberfläche gegenüber der Arbeitselektrode 3 liegt, wird der am vorspringenden Teil gebildete passive Film abgeschliffen und durch das Schleifmittel 7 entfernt, wobei der im vorspringenden Teil fließende Strom auf die Stromstärke J₁ erhöht wird. Alsdann wird der vorspringende Teil vorzugsweise und selektiv elektrolytisch geseigert, worauf diese Prozesse wiederholt werden, so dass nur diese vorspringenden Teile der zu behandelnden Oberfläche fertig bearbeitet werden können.

Während dem Zyklus T liegt ein Teil der zu behandelnden Oberfläche gegenüber der Arbeitselektrode 3.

In Fig. 3 ist die Beziehung zwischen einem solchen Zyklus T und der Oberflächenrauigkeit dargestellt. Wie aus dieser Figur ersichtlich ist, liegt ein passender Bereich des Zyklus T zur Erzielung einer Oberflächenrauigkeit von 0,5 µmR_{max} oder weniger zwischen 10 und 600 ms. Unter der Bedingung, dass T < 10 ms beträgt, ist die von der zu behandelnden Oberfläche entfernte Menge extrem klein, wobei eine gut behandelte Oberfläche infolge des Ungenügens einer Zeitperiode, die notwendig ist für die Erzeugung anodischer, passiver Überzüge und Steuerung des Elektrolyten, nicht erhalten werden kann.

Wenn andererseits T grösser ist als 600 ms, brechen die anodischen, passiven Überzüge, die auf dem konkaven Teil der zu behandelnden Oberfläche erzeugt worden sind, wobei diese konkave Teile gleichzeitig mit den vorspringenden Teilen elektrolytisch geseigert werden. Deshalb wird die Ober-

flächenrauigkeit schlechter, wenn der Zyklus T grösser wird.

Wie ebenfalls aus Fig. 3 ersichtlich, sollte der Zyklus T zur Erzielung einer Oberflächenrauigkeit von etwa $0,1 \mu\text{mR}_{\text{max}}$ oder weniger im Bereich von 20 bis 200 ms liegen.

Im folgenden soll die Abschleifgeschwindigkeit des Schleifmittels 7 behandelt werden.

Aus Fig. 4 ist die Beziehung zwischen der Schleifgeschwindigkeit des Schleifmittels 7 und der Oberflächenrauigkeit ersichtlich. Um eine Oberflächenrauigkeit von $0,5 \mu\text{mR}_{\text{max}}$ oder weniger zu erhalten, sollte wie aus Fig. 4 ersichtlich die Abschleifgeschwindigkeit des Schleifmittels 2 m/s oder mehr betragen. Unter der Bedingung, dass die Schleifgeschwindigkeit kleiner als 2 m/s ist, wird da die anodischen, passiven Filme nicht genügend durch die Schleifmittel entfernt, werden die beseitigte Menge der zu behandelnden Oberfläche extrem klein, wobei die Oberflächenrauigkeit verschlechtert wird.

Im folgenden soll der Druck des Schleifmittels 7 auf die zu behandelnde Oberfläche diskutiert werden.

Aus Fig. 5 ist die Beziehung zwischen dem Druck P des Schleifmittels auf die zu behandelnde Oberfläche, der Breite der Lücke lg zwischen der äusseren Oberfläche 2 des zylindrischen Werkstückes 1 und der Elektrodenoberfläche 4 der Arbeitselektrode 3 und der zu erzielenden Oberflächenrauigkeit ersichtlich.

Der Druck P des Schleifmittels 7 ist abhängig von der Breite lg der Lücke. Die gestrichelte Linie in Fig. 5 zeigt den Druck P des Schleifmittels 7 mit einer Dicke von 5 mm.

Wie in Fig. 5 gezeigt, steigt der Druck P an, wenn die Breite lg der Lücke verkleinert wird. Wie ebenfalls aus den ausgezogenen Linien gemäss Fig. 5 ersichtlich, ist die Oberflächenrauigkeit vom Druck P des Schleifmittels 7 abhängig.

Diese Daten wurden bei Verwendung eines zylindrischen Werkstückes mit einem Durchmesser von 20 bis 100 und eine Länge von 500 erhalten, wobei die anfängliche Oberflächenrauigkeit $25 \mu\text{mR}_{\text{max}}$ oder weniger betrug. Die Durchbiegung des zylindrischen Werkstückes infolge Rotation betrug 0,01 bis 0,04 mm. Die Arbeitselektroden wiesen eine Breite von 40 mm, eine Höhe von 15 bis 60 mm, abhängig von den Dimensionen des zylindrischen Werkstückes, und eine Fläche von 7 bis 26 cm^2 auf. Die elektrolytische Spannung betrug 9 V, der elektrolytische Strom 10 bis 50 A, wobei der Elektrolyt eine 10%ige Natriumnitratlösung war. Das zylindrische Werkstück wurde mit etwa 500 Umdrehungen pro min rotiert. Die Zuführgeschwindigkeit der Arbeitselektrode, die parallel zur Achse des zylindrischen Werkstückes bewegt wurde, betrug $V_1 = 12 \text{ mm/min}$, resp. $V_2 = 4 \text{ mm/min}$.

Wie aus Fig. 5 ersichtlich, kann eine bessere Oberflächenrauigkeit erhalten werden, wenn der Druck P des Schleifmittels grösser wird. In beiden Fällen der Zuführgeschwindigkeit $V_1 = 12 \text{ mm/min}$ und $V_2 = 4 \text{ mm/min}$ wird eine Oberflächenrauigkeit von 0,05 bis $0,1 \mu\text{mR}_{\text{max}}$ mit einem Druck von $0,5 \times 10^5 \text{ Pa}$ oder mehr erhalten.

Wenn anderseits der Druck P des Schleifmittels weniger als $0,5 \times 10^5 \text{ Pa}$ beträgt, verschlechtert sich die Oberflächenrauigkeit schnell. Dieses Phänomen ist bemerkenswert, wenn die Zuführgeschwindigkeit V der Arbeitselektrode höher ist.

Aus der Beziehung zwischen dem Druck des Schleifmittels und der Lücke lg zwischen der äusseren Oberfläche 2 des zylindrischen Werkstückes 1 und der Elektrodenoberfläche 4 der Arbeitselektrode 3 gemäss Fig. 5 folgt, dass lg 1,8 mm beträgt, wenn $P = 0,5 \times 10^5 \text{ Pa}$ ist und lg 1,4 mm beträgt, wenn P gleich 10^5 Pa ist. lg kann sich in einem relativ weiten

Bereich bewegen, vorausgesetzt dass der Druck P des Schleifmittels die Bedingungen zur Erzielung einer stabilen Oberflächenrauigkeit von etwa $0,1 \mu\text{mR}_{\text{max}}$ ($P = 0,5 \times 10^5 \text{ Pa}$) erfüllt. Die Genauigkeit zur Positionierung der Arbeitselektrode 3 kann etwa 0,1 mm betragen.

Wenn gemäss Fig. 1 die Biegung des zylindrischen Werkstückes gross oder seine Rundheit schlecht ist und die Lücke lg zwischen der äusseren Oberfläche 2 des zylindrischen Werkstückes 1 und der Elektrodenoberfläche 4 der Arbeitselektrode 3 gross wird, nehmen der Druck des Schleifmittels 7 und die Stromstärke im Elektrolyten ab.

Wenn die Lücke lg zwischen der äusseren Oberfläche 2 des zylindrischen Werkstückes 1 und der Elektrodenoberfläche 4 kleiner wird, nehmen der Druck des Schleifmittels 7 und die Stromstärke im Elektrolyten zur Beschleunigung des Abschleifvorganges zu, wobei die Form des zylindrischen Werkstückes verändert werden kann.

Im folgenden sollen die Resultate eines Versuches betreffend die vorliegende Erfindung dargelegt werden.

Bei Verwendung eines zylindrischen Werkstückes mit einer Dimension von $0,30 \times 400$ einer anfänglichen Oberflächenrauigkeit von $20 \mu\text{mR}_{\text{max}}$ oder weniger, einer anfänglichen Rundheit von 4 bis 7 μm einer Biegung des zylindrischen Werkstückes infolge Rotation von 0,01 bis 0,04 mm, Arbeitselektroden mit einer Breite von 40 mm und einer Höhe von 20 mm, einer Kathodenfläche von $8,4 \text{ cm}^2$ und einer Elektrodenfläche von $16,5 \text{ cm}^2$, einer elektrolytischen Spannung von 9 V, einer elektrolytischen Stromstärke von 14 A, einem Elektrolyten bestehend aus einer 20%igen Natriumnitratlösung, einem Druck des Schleifmittels von etwa 10^5 Pa , einer Umdrehzahl des zylindrischen Werkstückes von etwa 500 Umdrehungen pro min und einer Zuführgeschwindigkeit der Arbeitselektroden von etwa 8 mm/min, wurde das zylindrische Werkstück hochglanzpoliert, um eine Oberflächenrauigkeit von 0,05 bis $0,1 \mu\text{mR}_{\text{max}}$ und eine Rundheit von 1,5 bis 3 μm mit einer Verminderung des Durchmessers des zylindrischen Werkstückes von etwa 0,04 bis 0,06 mm zu erhalten. Aus den obigen Ausführungen geht klar hervor, dass, selbst wenn das zylindrische Werkstück rotierend von 10 bis 40 μm gebogen wird, es möglich ist, eine hochglanzpolierte Oberfläche mit einer Oberflächenrauigkeit von 0,05 bis $0,1 \mu\text{mR}_{\text{max}}$ mit einer Rundheit in der Grössenordnung von μm zu schaffen. Im Hinblick auf den Betrag der Abnahme des Durchmessers des Werkstückes geht hervor, dass nur die vorspringenden Teile der zu behandelnden Oberfläche des Werkstückes abgetragen werden, um eine glatte und hochglanzpolierte Oberfläche zu erledigen.

Im folgenden wird in bezug auf die Fig. 6 ein zweites Beispiel eines beim erfindungsgemässen Verfahren zu verwendenden Werkzeuges beschrieben. Die gleichen Teile der Fig. 1 und 6 sind mit denselben Bezugszeichen versehen. Die Arbeitselektrode 3 ist nicht mit einer Elektrolytzuführungsöffnung versehen, wie die Vorrichtung gemäss Fig. 1. Ein Elektrolyt 6 wird zur Lücke zwischen der äusseren Oberfläche eines zylindrischen Werkstückes 1 und der Elektrodenoberfläche 4 einer Arbeitselektrode 3 mit Hilfe einer Düse 8, die unabhängig von der Arbeitselektrode 3 ausgebildet ist, zugeführt. Wie bei der Vorrichtung gemäss Fig. 1 ist die äussere Oberfläche 2 des zylindrischen Werkstückes 1 durch Elektrolyse in Verbindung mit Abschleifen hochglanzpoliert.

Im folgenden wird ein drittes Beispiel eines beim erfindungsgemässen Verfahren zu verwendenden Werkzeuges in bezug auf die Fig. 7 und 8 beschrieben. Gleiche Teile der Vorrichtung gemäss den Fig. 1 und 7 sind mit denselben Bezugszeichen versehen. Beim Beispiel gemäss Fig. 7 ist eine Hilfselektrode 9 zusätzlich zu einer Arbeitselektrode 3 gemäss Fig. 1 vorgesehen. Zwischen der Elektrodenoberfläche 10, der Hilfselektrode 9 und der äusseren Oberfläche 2 eines

zylindrischen Werkstückes 1 ist kein Schleifmittel vorgesehen. Die Hilfselektrode 9 ist gegenüber der äusseren Oberfläche 2 des zylindrischen Werkstückes 1 in einer Distanz von einem bis 2 mm vorgesehen und mit der Arbeitselektrode 3 in einer Einheitskonstruktion verbunden. Beide Elektroden 9 und 3 werden in Richtung der Zylinderachse des Werkstückes verschoben. An die Hilfselektrode ist eine kleinere Spannung als an die Arbeitselektrode 3 angeschlossen.

Wenn ein Abschnitt der äusseren Oberfläche 2 des zylindrischen Werkstückes 1 gegenüber der Hilfselektrode 9 liegt, fliesst ein Strom J2 gemäss Fig. 9 durch diesen Teil und es werden passive Filme anodisch auf den konkaven und vorspringenden Teilen der zu behandelnden Oberfläche in der Nähe dieses Abschnittes erzeugt. Wenn das zylindrische Werkstück 1 rotiert wird, so dass der Abschnitt gegenüber der Arbeitselektrode 3 liegt, wird der anodische, passive auf den vorspringenden Teilen erzeugte Überzug abgeschliffen und das abgeschliffene Material entfernt, wobei ein durch diesen Abschnitt fliessender Strom erhöht wird und den Wert J1 erreicht. Der vorspringende Teil wird also bevorzugt und selektiv elektrolysiert und geseigert. Eine Wiederholung des Vorganges bewirkt nur eine Behandlung der vorspringenden Teile der zu behandelnden Oberfläche, d. h. ein Hochglanzpolieren.

Die Dichte des elektrolytischen Stromes, der die anodischen, passiven Filme erzeugt, beträgt 0,1 A/cm² oder weniger.

Im folgenden werden die Resultate eines Versuches, der mit dem den Werkzeug gemäss Fig. 7 durchgeführt wurde, diskutiert. Die aus Kupfer bestehende Arbeitselektrode 3 weist eine Breite von 40 mm, eine Höhe von 20 mm und eine Oberfläche mit einem Radius von 16 mm auf. Das zylindrische Werkstück 1 weist einen Durchmesser von 30 mm auf. Es werden mit einem Schleifmittel 7 verbundene Schleifkörner 600 (26 bis 31 µm) bis 800 (18 bis 22 µm) verwendet. Der Elektrolyt 6 besteht aus einer 20%igen Natriumnitratlösung. Es wurde eine Gleichspannung von 6 bis 9 Volt verwendet. Der Elektrolyt 6 wurde zur Lücke zwischen der Arbeitselektrode 3 und dem rotierten zylindrischen Werkstück 1 zugeführt. Der durch den Abschnitt der zu behandelnden Oberfläche gegenüber der Arbeitselektrode 3 fliessende Strom weist den Wert J1 auf. Ein Ableitstrom J2 fliesst durch den Abschnitt der Oberfläche, welche der Arbeitselektrode 3 nicht gegenüberliegt, um darauf einen anodischen, passiven Überzug zu bilden.

Wenn das zylindrische Werkstück 1 einen relativ kleinen Durchmesser aufweist und der Elektrolyt 6 genügend mit der zu behandelnden Oberfläche im Kontakt steht, ist nicht immer eine Hilfselektrode 9 notwendig.

Beim Beispiel gemäss Fig. 7 ist ein zylindrisches Werkzeug mit einem relativ kleinen Durchmesser vorgesehen. Für ein zylindrisches Werkstück mit einem grossen Durchmesser kann die Vorrichtung gemäss Fig. 10 mit einer Mehrzahl von Arbeitselektroden 3 und Hilfselektroden 9 verwendet werden, so dass der Zyklus im Bereich 20 bis 200 ms liegt und ein wirkungsvolleres Hochglanzpolieren stattfindet.

Im folgenden wird eine Vorrichtung zum Hochglanzpolieren eines zylindrischen Werkstückes beschrieben. In den Fig. 11 und 12 ist ein erstes Ausführungsbeispiel der Vorrichtung dargestellt. Ein zylindrisches Werkstück 11 mit einer äusseren Oberfläche 12 wird in Richtung eines Teils A rotiert. Eine auf einem Sockel 13 montierte Arbeitselektrode 3 weist eine Elektrodenoberfläche 15 auf, die in eine konkav gekrümmte Oberfläche geformt ist, wobei der Radius etwas grösser ist als derjenige der äusseren Oberfläche 12 des zylindrischen Werkstückes 11. Diese Elektrodenoberfläche 15 ist dem zylindrischen Werkstück 11 angrenzend angeordnet.

Führungsrollen 16 sind an beiden Seiten der beiden Enden der Elektrodenoberfläche 15 und an einem passenden Abschnitt der Arbeitselektrode 14 angeordnet. Zwei Stützen 17 sind an passenden Abschnitten einer in der Trägerplatte 13 vorgesehenen Rille 18 befestigt. Zwei Stützstäbe 19 sind zwischen den Stützen 17 befestigt.

Ein Stützelement 20 ist bewegbar an den Stützstäben 19 montiert. Zwischen den Stützelementen 20 und einer der Stützen 17 angeordnete Federn 21 üben eine Federspannung auf das Stützelement 20 in Richtung nach rechts gemäss Fig. 11 aus. Ein Spannrolle 22 ist rotierbar am Stützelement 20 befestigt.

Eine Haspel 23 ist für ein bandförmiges Schleifmittel 24 vorgesehen. Eine Aufnahmerolle 25 wird in Richtung des Pfeiles B durch einen Antriebsmechanismus gedreht. Das von der Rolle 23 abgewickelte Schleifmaterial wird zur Lücke zwischen dem zylindrischen Werkstück 11 und der Elektrodenoberfläche der Arbeitselektrode 14 durch die Spannungsrolle 22 und die Führungsrollen 16 geführt. Das so geführte Schleifmittel 24 ist gleitbar in Kontakt mit der äusseren Oberfläche 12 des zylindrischen Werkstückes 11 und wird durch die Elektrodenoberfläche 15 gegen dieselbe gepresst und dann durch die Aufnahmerolle 25 aufgenommen. Das Schleifmittel wird durch die Vorspannrolle 22 gespannt.

Das zylindrische Werkstück 11 ist mit der Anode einer Stromversorgung verbunden. Die Arbeitselektrode 14 ist mit der Kathode der Stromversorgung verbunden. Ein Elektrolyt wird durch die Lücke zwischen der Elektrodenoberfläche 15 und der äusseren Oberfläche 12 des zylindrischen Werkstückes 11 durch eine Bohrung in der Arbeitselektrode 14 von einer Elektrolytzuführungsvorrichtung zugeführt. Elektrolyse wird mit einer Spannung von einigen Volt bis etwa 15 Volt durchgeführt, wobei eine Stromdichte von etwa 10 A/cm² oder weniger vorliegt.

Die Aufnahmerolle 25 wird durch einen Antriebsmechanismus in der Richtung des Pfeiles B mit einer kleineren Geschwindigkeit als die periphere Geschwindigkeit des zylindrischen Werkstückes 11 rotiert. Das durch die Spannrolle 22 gespannte Abschleifmittel wird gegen das zylindrische Werkstück 11 mit der Elektrodenoberfläche 15 gepresst und wird in Richtung des Pfeiles C bewegt, um von der Aufnahmerolle 25 aufgenommen zu werden. Wenn die Zuführgeschwindigkeit des Schleifmittels ungleichmässig wird, wird das Stützelement 20 durch die Federn 21 bewegt, um die Spannrolle 22 zu betätigen und damit die auf das Schleifmittel 24 wirkende Spannung einzustellen, wobei die Zuführgeschwindigkeit des Schleifmittels konstant gehalten wird.

Wie durch die ausgezogene Linie gemäss Fig. 13 dargestellt ist, wird die Abtraggeschwindigkeit der äusseren Oberfläche 12 des zylindrischen Werkstückes 11 während der Bearbeitungszeit konstant gehalten und nicht gesenkt. Dieses konstante Verfahren rührt von der automatischen Zuführung des Schleifmaterials 24 her. Die äussere Oberfläche 12 des zylindrischen Werkstückes 11 kann hochglanzpoliert werden, um eine Oberflächenrauigkeit von 0,1 µmR_{max} oder weniger zu erhalten. Die gestrichelte Linie gemäss Fig. 13 stellt die Abtraggeschwindigkeit, die mit einer herkömmlichen Polier Vorrichtung erhalten wird, dar, bei welcher das Abschleifmittel nicht zugeführt wird. In diesem Fall wurde die Abtraggeschwindigkeit als Funktion der Bearbeitungszeit gesenkt. Bei einer peripheren Geschwindigkeit des zylindrischen Werkstückes von 3 m/sec und der Zuführgeschwindigkeit der Arbeitselektrode von 8 mm/min wurde die Abtraggeschwindigkeit des Werkstückes auf die Hälfte der anfänglichen Abtraggeschwindigkeit nach etwa 30 Minuten gesenkt, wobei die ursprüngliche Oberfläche infolge der ungenügend grossen, abgetragenen Menge als nichtbehandelt erschien.

Wenn verbrauchtes Schleifmittel durch neues ersetzt und das Verfahren unterbrochen wird, erscheinen übermässige Abschleifspuren auf der Oberfläche infolge des plötzlichen Anstieges der Abschleifkräfte. Eine gleichmässig behandelte Oberfläche kann so nicht erhalten werden und der Wirkungsgrad der Bearbeitung sinkt.

Infolge des Zuführmechanismus, der das automatische Zuführen eines bandförmigen Schleifmittels ermöglicht, erübrigt sich die Notwendigkeit des Ersetzens von gebrauchtem Schleifmittel, wie es bei gebräuchlichen Verfahren notwendig ist und erlaubt ein kontinuierliches Langzeit-Hochglanzpolieren. Der Wirkungsgrad kann vermerkwürdig verbessert werden und eine hochglanzpolierte Oberfläche mit einheitlicher Oberflächenrauigkeit kann mit grösserer Genauigkeit erhalten werden.

Im folgenden wird in bezug auf die Fig. 14 ein Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung zum Hochglanzpolieren der inneren Oberfläche eines zylindrischen Werkstückes beschrieben. Eine mit der Achse des zylindrischen Werkstückes 26 zusammenfallende Stützwelle 27 ist mit einem nicht dargestellten Antriebsmittel verbunden, um die Stützwelle in Axialrichtung des zylindrischen Werkstückes 26 zu bewegen, wobei die Stützwelle 27 mit der Kathode der Stromversorgung verbunden ist. Ein Rahmen 28 ist mit der Stützwelle 27 durch ein Drehlager od. dgl. verbunden und an den Enden mit Schleifköpfen 29 versehen. Der Rahmen 28 wird um die Stützwelle 27 in Richtung des Pfeiles D durch eine nicht dargestellte Schwenkvorrichtung gedreht.

Jeder der Schleifköpfe 29 ist mit einer Arbeitselektrode versehen, die eine konvex gekrümmte Oberfläche 30 aufweisen, welche Fläche einen Radius besitzt, der im wesentlichen gleich demjenigen der Innenoberfläche des zylindrischen Werkstückes 26 ist. Im weiteren ist der Schleifkopf mit einem Druckmittel zum Anpressen der Elektrodenoberfläche 30 der Arbeitselektrode auf die innere Oberfläche 31 des zylindrischen Werkstückes 26, mit Feder- oder hydraulischen Mitteln versehen. Ferner ist eine Vorrichtung zum Zuführen eines Elektrolyten zu der Lücke zwischen der Elektrodenoberfläche 30 und der inneren Oberfläche 31 des zylindrischen Werkstückes 26 vorhanden.

Durch Zuführbürsten od. dgl. werden die Arbeitselektroden mit der Stützwelle 27 verbunden, die ihrerseits mit der Kathode der Stromversorgung verbunden ist.

Am Rahmen 28 sind mit in Kontakt mit der Stützwelle 27 stehende Drehelemente 32, wie Rollen oder ein Getriebe, das in Eingriff mit einem an der Stützwelle 27 angeordnete Getriebe steht, vorgesehen. Auf den Drehschaft 33 der Rotationselemente ist Schleifmittel 35 aufgewunden, welches mit dem Rahmen 28 verbundenen Schleifmittelhaspeln entnommen wird und die Elektrodenoberfläche 30 der Schleifköpfe 29 bedeckt.

Als Schleifmittel 35 werden federnde, nicht gewobene Schleifmittel mit wasserdurchlässigen und isolierenden Eigenschaften verwendet, an welchen Schleifkörner befestigt sind.

Im folgenden soll die Wirkungsweise der Apparatur gemäss Fig. 14 erläutert werden. Wenn die Elektrodenoberflächen 30 des Schleifkopfes 29 an die innere Fläche 31 des zylindrischen Werkstückes 26 mit einem vorbestimmten Druck gepresst werden und der Rahmen 28 in Richtung des Pfeiles D simultan mit der Anlegung einer Spannung an den Elektrolyten rotiert wird, so wird die innere Oberfläche 31 des zylindrischen Werkstückes 26 durch Seigerung in Kombination mit einem Schleifverfahren durch Schleifmittel 35 elektrolisiert und abgeschliffen. Die Drehwellen 32, die in Kontakt oder in Eingriff mit der festen Stützwelle 27 stehen, werden um dieselbe rotiert. Das den Elektrodenoberflächen 30 zugeführte Schleifmittel wird auf die Drehwellen 33 der

Drehelemente 32 aufgewunden, wobei gleichzeitig neues Schleifmittel 35 den Elektrodenoberflächen 31 von den Haspeln 34 zugeführt wird. Ausserdem wird gleichzeitig mit der Drehung des Rahmens 28 die Stützwelle 27 in axialer Richtung mit konstanter Geschwindigkeit vorwärts bewegt, wobei ebenfalls die Abschleifköpfe 29 in axialer Richtung mit konstanter Geschwindigkeit bewegt werden, währenddem die innere Oberfläche 31 des zylindrischen Werkstückes 26 rotiert wird, um dessen innere Fläche gleichmässig zu polieren.

Die Geschwindigkeit zur Aufnahme des Abschleifmittels ist abhängig von der Umdrehzahl des Rahmens 28, dem Verhältnis des Stützwellendurchmessers zum Durchmesser des Drehelementes und der Dimension der Drehwelle 33, welche basierend auf der Standzeit des Schleifmittels 35 bestimmt werden.

Wenn z. B. der Druck des Schleifmittels $0,5 \text{ bis } 1 \times 10^5 \text{ Pa}$ und die Abschleifgeschwindigkeit des Schleifmittels $1 \text{ bis } 2 \text{ m/s}$ beträgt, so liegt die Standzeit des Schleifmittels zwischen 40 und 60 min. Wenn der innere Durchmesser des zylindrischen Werkstückes 26 1 m und der Umfang der Arbeitselektrode $0,3 \text{ m}$ betragen, so liegt die Aufnahmegeschwindigkeit für das Schleifmittel zwischen $0,2 \text{ und } 0,4 \text{ mm}$ oder mehr pro Umdrehung des Schleifkopfes. Die Dimensionen der Stützwelle 27, des Rotationselementes 32 und der Drehwelle 33 werden aus der Aufnahmegeschwindigkeit für das Schleifmittel erhalten. Es ist möglich, die Aufnahmegeschwindigkeit für das Schleifmittel zu reduzieren, indem z. B. ein Zwischengetriebe angeordnet wird.

Währenddem das Schleifmittel 35 in der umgekehrten Richtung bezüglich der durch einen Pfeil D im Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 14 dargestellten Schleifrichtung aufgenommen wird, kann gemäss Fig. 15 das Schleifmittel 35 in derselben Richtung wie die Schleifrichtung aufgenommen werden.

Im folgenden wird ein weiteres Beispiel einer Vorrichtung zum Hochglanzpolieren der inneren Oberfläche eines zylindrischen Werkstückes in bezug auf die Fig. 16 beschrieben. Wie beim vorhergehend beschriebenen Ausführungsbeispiel ist ein zylindrisches Werkstück 26 mit der Anode einer Stromversorgung verbunden. Eine mit der Achse des zylindrischen Werkstückes 26 zusammenfallende Stützwelle 36 ist mit nicht dargestellten Antriebsmitteln verbunden, um die Stützwelle 36 axial zu verschieben und ist mit der Kathode der Stromversorgung verbunden.

Ein Rahmen 37 ist auf der Stützwelle 36 mittels einem Drehlager od. dgl. verbunden und an den Enden mit Abschleifköpfen 38 versehen.

Der Rahmen 37 wird um die Stützwelle 36 in Richtung des Pfeiles D durch nicht dargestellte Schwenkmittel gedreht. Jeder der Abschleifköpfe 38 umfasst eine Arbeitselektrode mit einer Elektrodenoberfläche 39, welche konvex gekrümmt ist und einen Radius aufweist, der im wesentlichen demjenigen der inneren Oberfläche 31 des zylindrischen Werkstückes 26 entspricht. Im weiteren umfasst jeder der Abschleifköpfe ein Pressmittel zum Andrücken der Elektrodenoberfläche 39 der Arbeitselektrode an die innere Oberfläche 31 des zylindrischen Werkstückes 26 durch Feder- oder hydraulische Mittel, wobei Elektrolytzuführmittel einen Elektrolyten zur Lücke zwischen der Elektrodenoberfläche 39 und der inneren Fläche 31 des zylindrischen Werkstückes 26 zuführen. Durch Stromzuführbürsten od. dgl. sind die Arbeitselektroden mit der Stützwelle 36 verbunden, welche ihrerseits an die Kathode der Stromversorgung angeschlossen ist.

Zwei Druckrollen 40 sind im Rahmen 73 gleitbar entlang im Rahmen angeordneten Schlitzen vorgesehen und werden durch Federn 42 an die Stützwelle 36 gepresst.

Ein Abschleifriemen 43 ist auf die Elektrodenoberfläche 39 des Abschleifkopfes 38 gewunden und erstreckt sich zwischen der Stützwelle 36 und beiden Rollen 40, welche den Abschleifriemen 43 gegen die Stützwelle 36 drücken. Als Abschleifmittel mit wasserdurchlässigen und isolierenden Eigenschaften verwendet, an welchem Abschleifkörner angebracht sind.

Ein Schleifriemen-Druckmittel wird durch Rollen 40, die Schlitz 41 und die Federn 42 gebildet. Im folgenden wird der Betrieb der Vorrichtung gemäss Fig. 16 beschrieben.

Wenn die Elektrodenoberfläche 39 der Abschleifköpfe 38 an die inneren Oberflächen 31 des zylindrischen Werkstückes 26 mit einem vorbestimmten Druck gepresst werden und der Rahmen 37 in Richtung des Pfeiles D simultan mit dem Anlegen einer Spannung an den Elektrolyten rotiert wird, so wird die innere Oberfläche 31 des zylindrischen Werkstückes 26 durch Elektrolyse in Kombination mit dem Abschleifen durch den Abschleifriemen elektrolysiert und abgeschliffen.

Der an die feste Stützwelle 36 durch die Druckrollen 40 gepresste Abschleifriemen 43 wird ebenfalls rotiert und periodisch auf der Elektrodenoberfläche 39 der Abschleifköpfe 38 in Richtung des Pfeiles E entgegen der Abschleifrichtung des Pfeiles B bewegt. Ausserdem wird gleichzeitig mit dem Drehen des Rahmens 37 die Stützwelle 36 in axialer Richtung mit einer konstanten Geschwindigkeit bewegt. Die Abschleifköpfe 38 werden rotiert und in axialer Richtung über die innere Oberfläche 31 zum zylindrischen Werkstück 26 vorgeschoben, wobei die innere Fläche 31 gleichmässig poliert wird.

Der Abschleifriemen läuft gemäss Fig. 16 entgegengesetzt dem Pfeil D um. Beim Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 17 entspricht die Umlaufrichtung des Riemens 43 der Richtung des Pfeiles D, indem Zwischenrollen 44 oder ein Getriebe zwischen der Stützwelle 36 und den Druckrollen 40 angeordnet wird. Der Abschleifriemen 43 wird zwischen den Rollen 40 und 44 angeordnet.

Im folgenden wird ein weiteres Ausführungsbeispiel der Vorrichtung zum Hochglanzpolieren der inneren Oberfläche des zylindrischen Werkstückes in bezug auf die Fig. 18 beschrieben. Das zylindrische Werkstück 26 ist mit der Anode einer Stromversorgung verbunden. Eine Stützwelle 45 fällt mit der Achse des zylindrischen Werkstückes 26 zusammen und ist mit nicht dargestellten Antriebsmitteln verbunden, um axial verschoben zu werden und ist mit der Kathode der Stromversorgung verbunden.

Ein Rahmen 46 ist an der Stützwelle 45 mittels einem Drehlager montiert und an beiden Enden mit Abschleifköpfen 47 versehen. Der Rahmen 46 kann um die Stützwelle 45 in Richtung des Pfeiles D durch nicht dargestellte Schwenkmittel gedreht werden.

Jeder der Abschleifköpfe 47 umfasst eine Arbeitselektrode mit einer Elektrodenoberfläche 48, welche konvex geformt ist und einen Radius aufweist, der im wesentlichen dem Radius der inneren Oberfläche 31 des zylindrischen Werkstückes 26 entspricht. Im weiteren umfassen die Abschleifköpfe Druckmittel zum Anpressen der Elektrodenoberfläche 48 der Arbeitselektrode an die innere Oberfläche des zylindrischen Werkstückes 26 durch Feder- oder hy-

draulische Mittel, wobei Elektrolytzuführrmittel einen Elektrolyten zur Lücke zwischen der Elektrodenoberfläche 48 und der inneren Oberfläche 31 des zylindrischen Werkstückes 26 zuführen. Durch Stromzuführbürsten od. dgl. sind die Arbeitselektroden mit der Stützwelle 45 verbunden, welche ihrerseits an die Kathode der Stromversorgung angeschlossen ist.

An den Rahmen 46 sind zwei Hilfsdrehmittel angebracht, welche in Ausführung aus Rollen in Kontakt mit der Stützwelle 45 stehen oder als Getriebe in Eingriff mit einem an der Stützwelle 45 angeordneten Getriebe stehen.

Im weiteren sind zwei Drehelemente 50 gleitbar entlang im Rahmen 46 gebildeten Schlitz 51 vorgesehen. Die Drehelemente 50 werden an die Hilfsdrehelemente 49 durch Federn angedrückt, wobei jeder der beiden Abschleifriemen 53 auf jede der Elektrodenoberflächen 48 und jedes der Drehelemente 50 aufgewunden wird. Für die Abschleifriemen 53 wird elastisches, nichtgewobenes Abschleifmaterial mit wasserdurchlässigen und isolierenden Eigenschaften verwendet, an welchem Abschleifkörner angebracht sind.

Im folgenden soll die Wirkungsweise der Vorrichtung gemäss Fig. 18 beschrieben werden. Wenn die Elektrodenoberflächen 48 der Abschleifköpfe 47 gegen die innere Oberfläche 31 des zylindrischen Werkstückes 26 mit einem vorbestimmten Druck gepresst werden und der Rahmen 46 in Richtung des Pfeiles D gleichzeitig mit dem Anlegen einer Spannung an den Elektrolyten rotiert wird, so wird die innere Oberfläche 31 des zylindrischen Werkstückes 26 durch Elektrolyse in Verbindung mit Abschleifen durch den Abschleifriemen 53 elektrolysiert und abgeschliffen.

Die Hilfsdrehelemente 49, die in Kontakt oder Eingriff mit der festen Stützwelle 45 stehen, werden um dieselbe gedreht. Die Abschleifbänder 53 werden durch die Drehmittel 50 gegen die Hilfs-Drehmittel 49 gepresst, in Richtung des Pfeiles E rotiert und periodisch auf den Elektrodenoberflächen 48 der Abschleifköpfe 47 entgegengesetzt der Richtung des Pfeiles D bewegt. Gleichzeitig mit der Rotation des Rahmens 46 wird die Stützwelle 45 in axialer Richtung mit konstanter Geschwindigkeit vorgerückt, wobei die Abschleifköpfe 47 rotiert, in Axialrichtung an der inneren Oberfläche 31 des zylindrischen Werkstückes 26 mit konstanter Geschwindigkeit vorwärts bewegt werden und dabei diese innere Oberfläche gleichmässig polieren.

Beim Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 18 werden die Abschleifbänder 53 in einer Richtung entgegengesetzt der Abschleifrichtung gemäss dem Pfeil D bewegt. Beim Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 19 werden die Abschleifbänder 53 in der Abschleifrichtung bewegt, indem die Drehelemente 50 direkt an die Stützwelle 45 gepresst werden.

Durch Kombination von Seigerung durch Elektrolyse mit mechanischem Abschleifen können die äussere oder die innere Oberfläche eines grossen zylindrischen Werkstückes hochglanzpoliert werden. Da der Umlauf der Abschleifbänder genügend länger ist als die Grösse der Elektrodenoberflächen der Arbeitselektroden, kann ein Langzeit-Polierbetrieb und eine gleichmässig hochglanzpolierte Oberfläche erzielt werden. Durch die vorliegende Erfindung wird eine effektive und sparsame Vorrichtung geschaffen.

Fig. 3

T (ms)	Oberflächenrauigkeit (µmRmax)
10	0.5
20	0.2
40	0.1
60	0.08
80	0.07
100	0.05
200	0.1
400	0.3
600	0.85

Fig.6

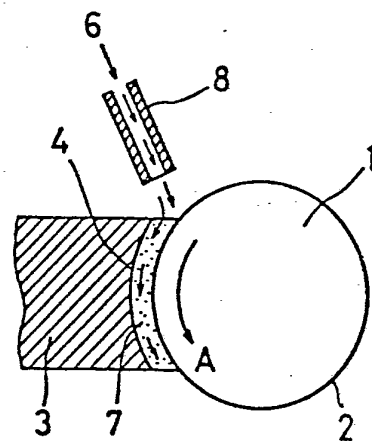


Fig. 5

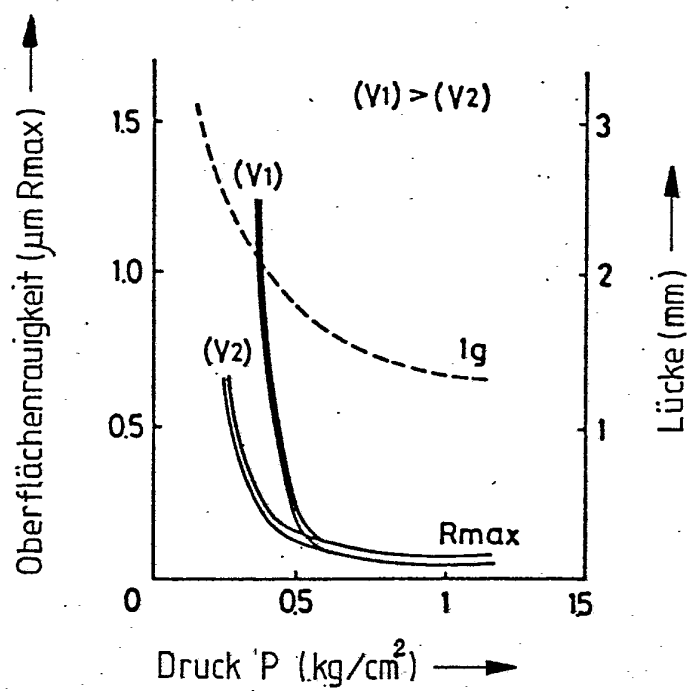


Fig. 7

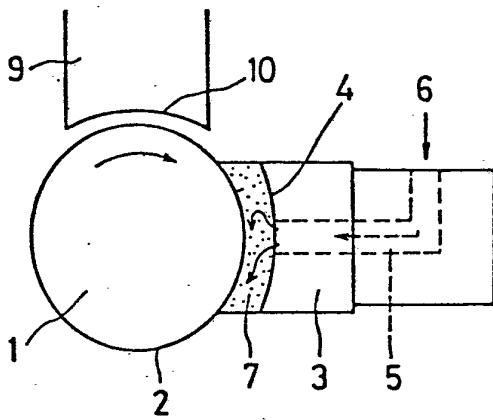


Fig. 8

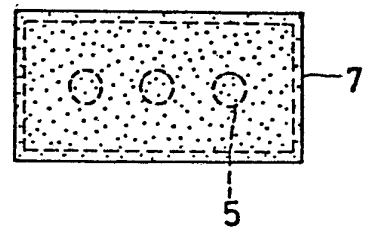


Fig. 9

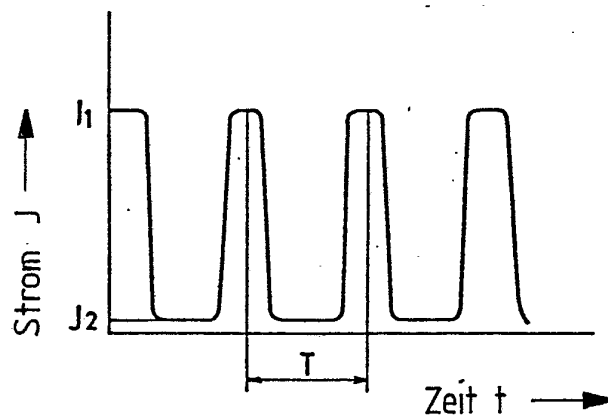


Fig. 10

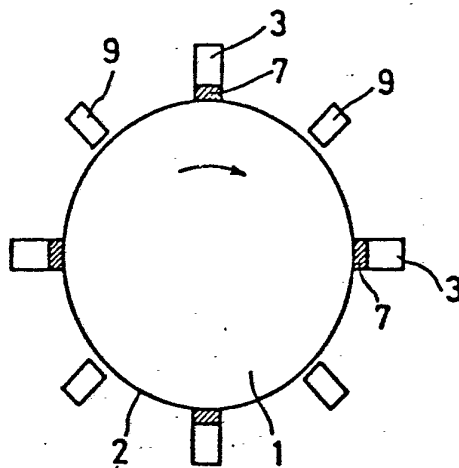


Fig.11

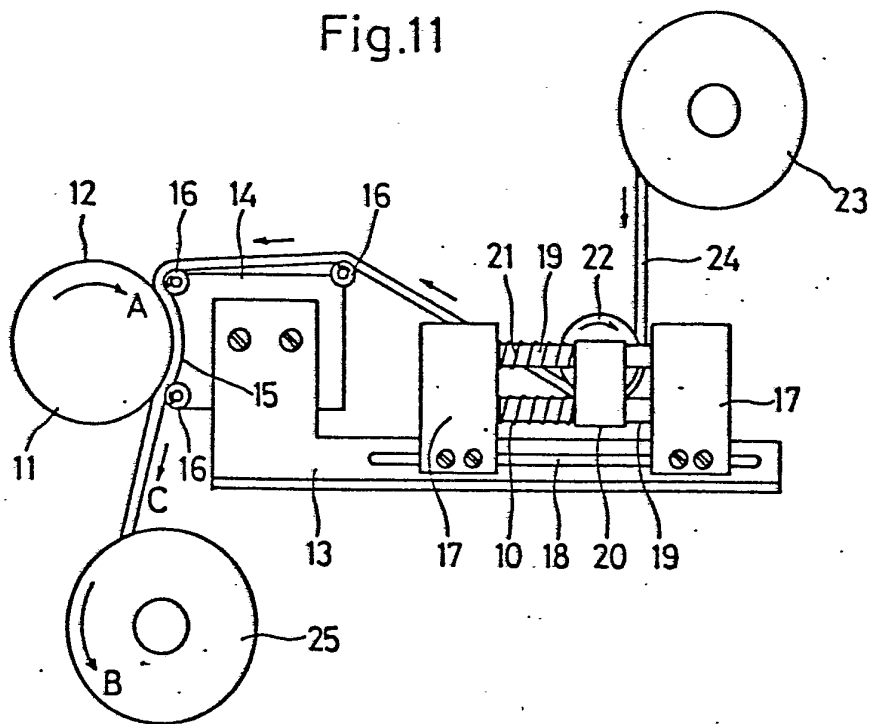


Fig.12

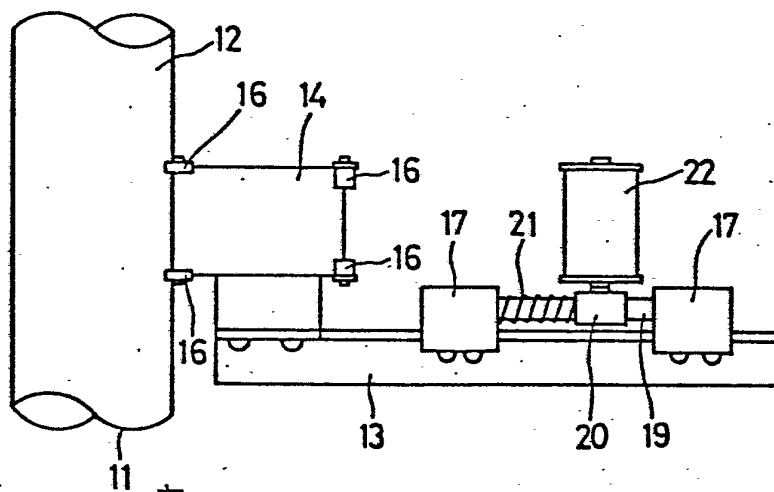


Fig.13

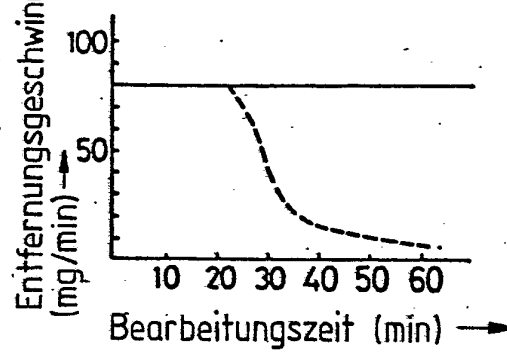


Fig.14

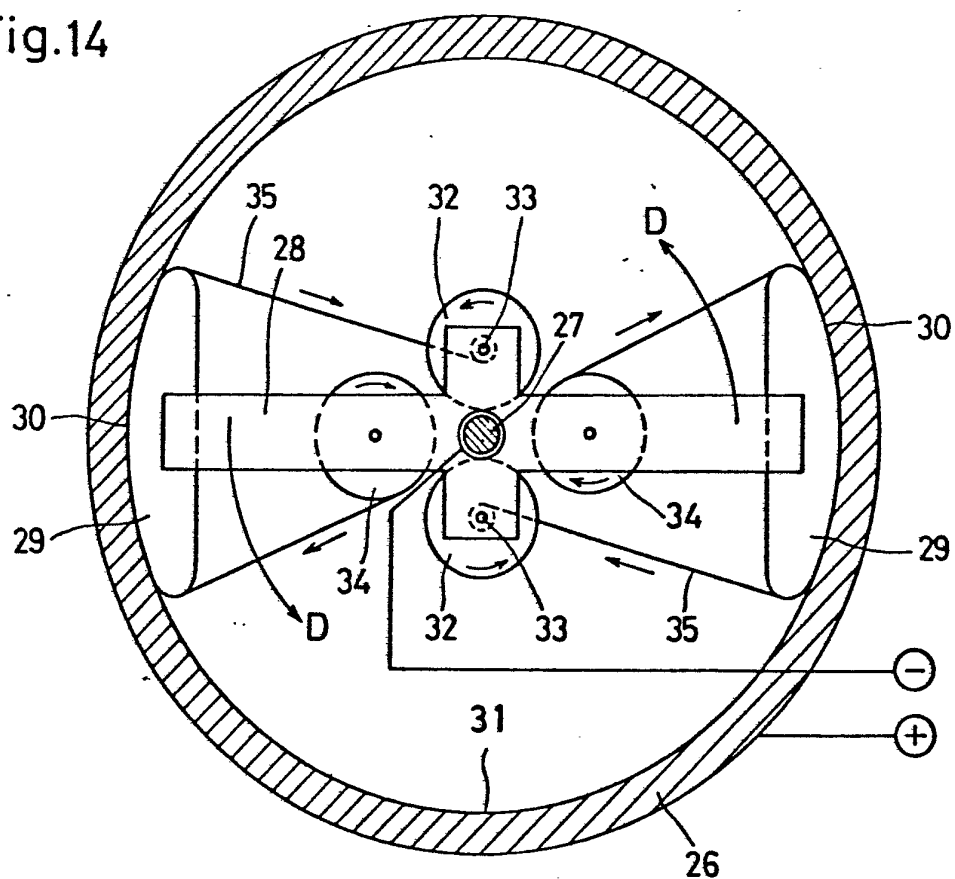


Fig.15

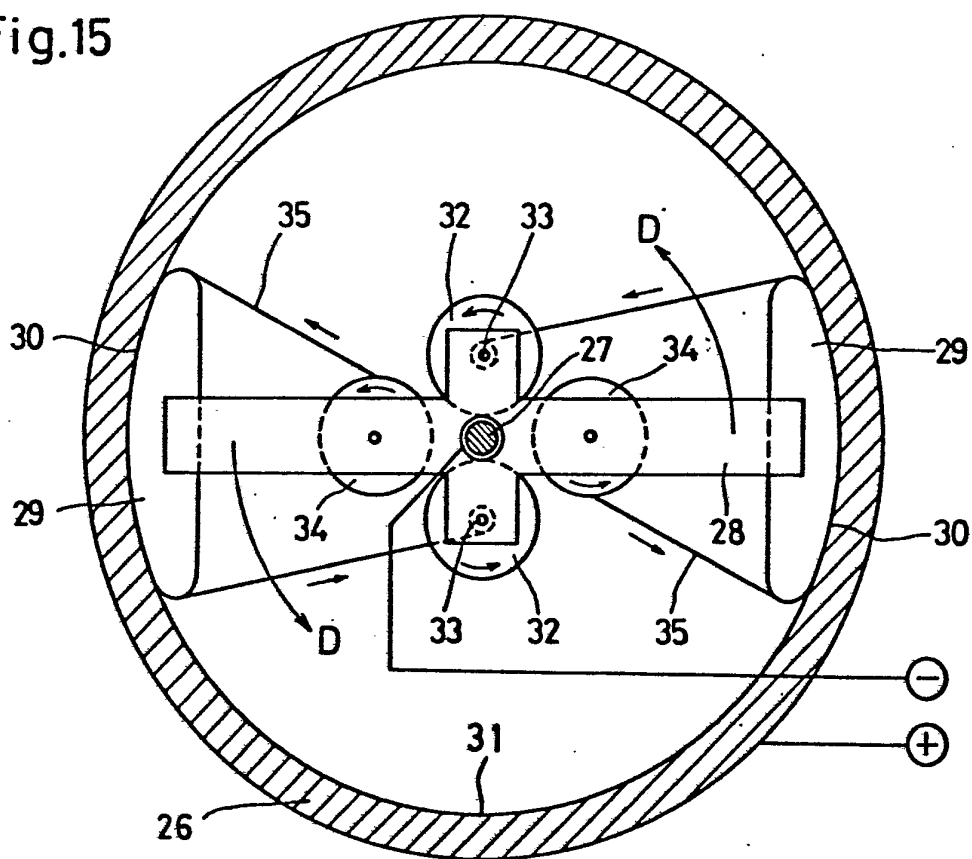


Fig.16

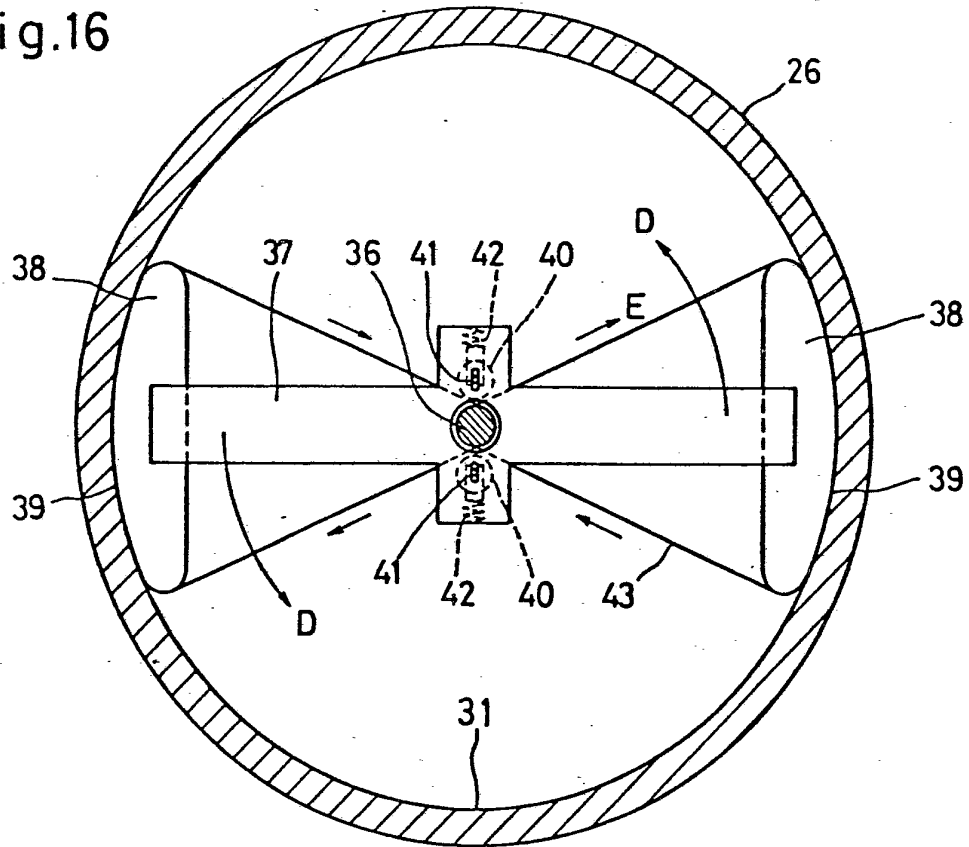


Fig.17

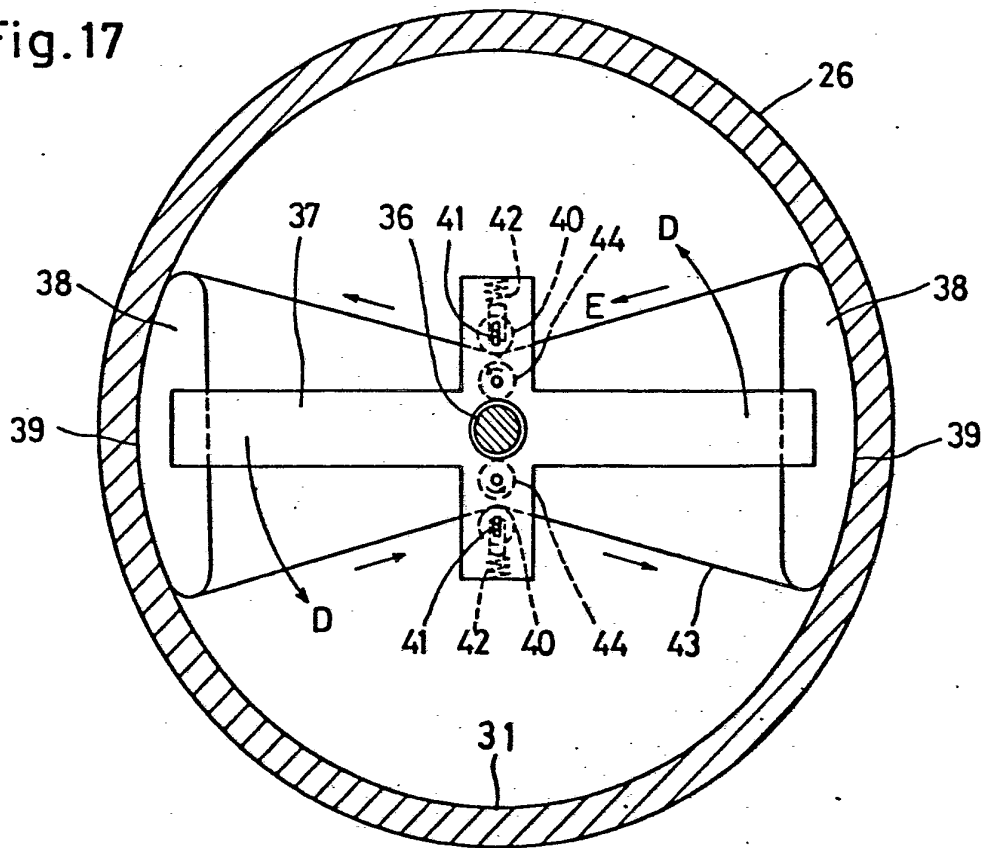


Fig.18

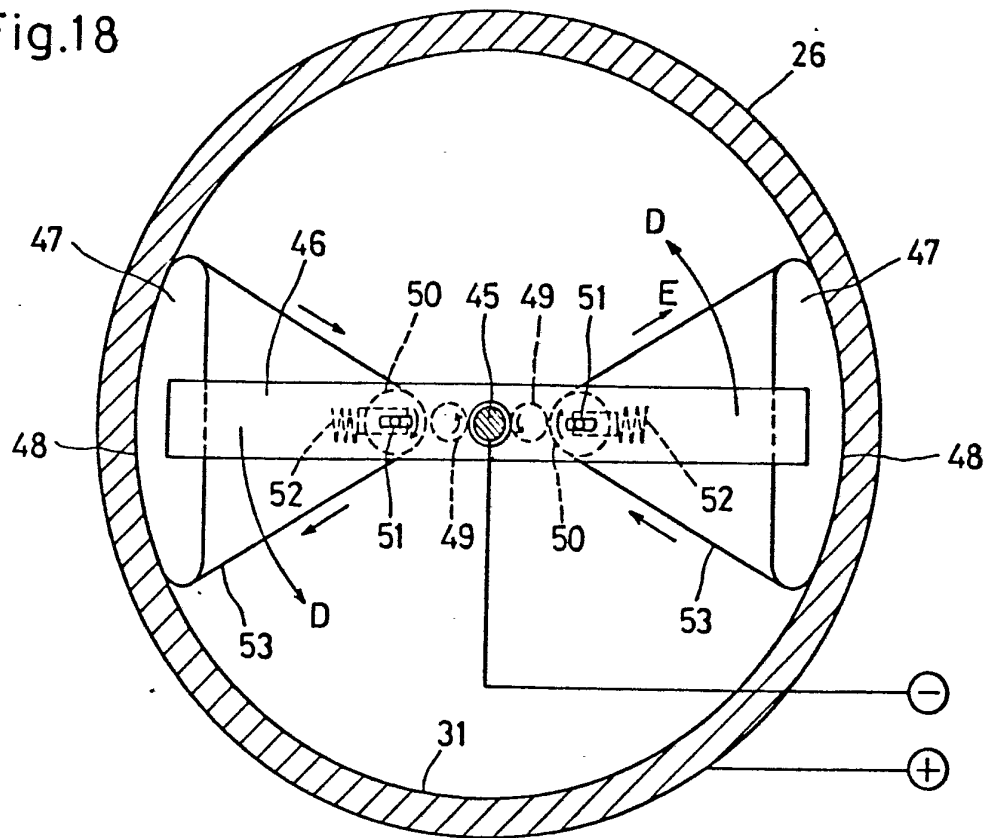


Fig.19

