



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

⑫ PATENTSCHRIFT A5

⑰ Gesuchsnummer: 2112/83

⑳ Anmeldungsdatum: 20.04.1983

㉔ Patent erteilt: 31.12.1986

④ Patentschrift  
veröffentlicht: 31.12.1986

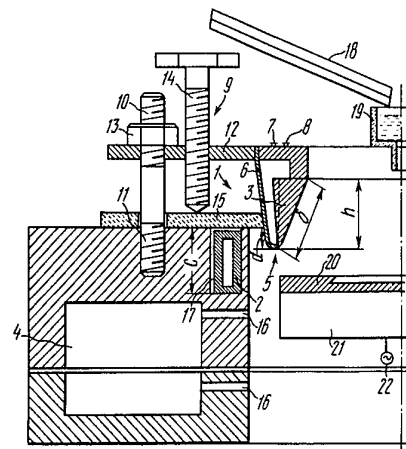
⑦ Inhaber:  
Zinovy Naumovich Getselev, Kuibyshev (SU)  
Genrikh Ivanovich Martynov, Kuibyshev (SU)

⑦ Erfinder:  
Getselev, Zinovy Naumovich, Kuibyshev (SU)  
Martynov, Genrikh Ivanovich, Kuibyshev (SU)

⑦ Vertreter:  
Patentanwälte Schaad, Balass, Sandmeier, Alder,  
Zürich

⑤ Verfahren und Vorrichtung zum kontinuierlichen Stranggiessen von Metallen.

⑤ Beim Verfahren wirkt man auf das flüssige Metall mit einem elektromagnetischen Feld eines Induktors (2) und einer Stabilisierungswindung (3) zur Bildung einer flüssigen Metallsäule ein. Anschliessend kühlt man die flüssige Metallsäule ab. Der Stabilisierungswindung (3) wird ein Strom zugeleitet, dessen Phase jener des Induktorstromes um zwischen 95°el und 165°el nacheilt und dessen Amplitude 0,1 bis 0,4 bezogen auf die Amplitude des Induktorstromes beträgt. Die Vorrichtung umfasst eine gekühlte Kokille (1), die einen elektromagnetischen Induktor (2) und eine aus einem nichtmagnetischen Werkstoff hergestellte Stabilisierungswindung (3) aufweist, die gleichachsig zum Induktor (2) angeordnet ist, im Querschnitt die Form eines Dreiecks hat und mit der Spitze des Dreiecks zum Induktor (2) hinweist. Hierbei liegt das Verhältnis der parallel zur Achse des Induktors (2) gemessene Höhe (h) des Dreiecks zur längsten Seite (δ) des Dreiecks in einem Bereich von 0,7 bis 0,96.



## PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum kontinuierlichen Stranggiessen von Metallen, bei dem einer gekühlten Kokille (1) ununterbrochen Metallschmelze zugeführt wird, auf die Metallschmelze ein von einem durch Wechselstrom erregten Induktor (2) erzeugtes erstes elektromagnetisches Feld sowie ein von einer Stabilisierungswindung (3) erzeugtes zweites elektromagnetisches Feld zur Einwirkung gebracht wird, um eine flüssige Metallsäule zu erzeugen, die zur Bildung eines Stranges gekühlt wird, dadurch gekennzeichnet, dass der Stabilisierungswindung (3) ein Strom zugeleitet wird, dessen Phase jener des Induktorwechselstromes zwischen  $95^\circ\text{el}$  und  $165^\circ\text{el}$  nacheilt und dessen Amplitude  $\frac{1}{10}$  bis  $\frac{4}{10}$  der Amplitude des Induktorwechselstromes beträgt.

2. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens gemäss Patentanspruch 1, mit einer gekühlten Kokille (1), der ein Induktor (2) und eine Stabilisierungswindung (3) aus nichtmagnetischem Werkstoff zugeordnet ist, welche gleichachsig zum Induktor (2) diesem vorgelagert angeordnet ist, im Querschnitt die Form eines Dreiecks mit einer zum Induktor (2) weisenden Spitze hat, und im wesentlichen auf der Höhe der oberen Stirnseite des Induktors (2) angeordnet ist, und mit einer dem Induktor (2) nachgeschalteten, zu diesem gleichachsigen Kühlvorrichtung (4) zum Abkühlen des Metalls, dadurch gekennzeichnet, dass die Stabilisierungswindung (3) im Querschnitt die Form eines spitzwinkligen Dreiecks hat, dessen längste Seite ( $\delta$ ) der Achse des Induktors (2) zugekehrt ist, und dessen parallel zur Achse des Induktors (2) gemessene Höhe ( $h$ ) eine Länge hat, die das 0,7- bis 0,96-fache der Länge der längsten Seite beträgt, und wobei die genannte Spitze des Dreiecks sich um das 0,1- bis 0,5-fache der Höhe ( $C$ ) des Induktors (2) in diesen hinein erstreckt, und wobei die Stabilisierungswindung (3) einen zusätzlichen Kühler (5) aufweist und aus einem Werkstoff ist, dessen spezifischer elektrischer Widerstand

$$\varrho = \frac{1}{K} \cdot f \cdot 10^{-9} \text{ Ohm} \cdot \text{m}$$

ist, wobei  $f$  die Frequenz des durch den Induktor (2) fließenden Stromes und  $K = 3$  oder  $4$  ist.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum kontinuierlichen Stranggiessen von Metallen gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruches 1, sowie eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruches 2.

Diese Erfindung dient vorwiegend für die Herstellung von Flach-, Rund- und Hohlsträngen mit guter Oberflächenbeschaffenheit, die keiner weiteren mechanischen Bearbeitung bedarf.

Bei der Strangbildung durch ein elektromagnetisches Feld findet in der flüssigen Phase des Stranges, also im Sumpf, unvermeidlich ein Kreislauf der Schmelze unter Einwirkung von Wirbelkräften elektromagnetischer Herkunft statt. Bekanntlich trägt der Kreislauf der Schmelze zu einer Verbesserung der Duktilität eines Stranges bei. Parallel dazu wurde gefunden, dass in gewissen Fällen bei der Strangbildung durch ein elektromagnetisches Feld eine Gefügeinhomogenität des Stranges in Form von abwechselnden, die Sumpfgestalt wiederholenden Streifen mit unterschiedlichem Kornbau eintritt. Es ist nachgewiesen, dass die Bildung der ungewünschten streifigen Struktur unmittelbar mit der Kreislaufintensität der Schmelze im Sumpf des Stranges zusammenhängt. Mit der Erhöhung der Laufgeschwindigkeit

des Metalls im Sumpf vergrössert sich die Wahrscheinlichkeit der Entstehung einer Strukturinhomogenität. Um folglich der Streifigkeit vorzubeugen, muss der Metallkreislauf im Sumpf auf ein Minimum beschränkt werden, das sich nach den Strangabmessungen, der Legierungszusammensetzung und den Forderungen an das Stranggefüge richtet.

Aus der US-PS 3 605 865 ist bereits ein Verfahren der eingangs genannten Art bekannt.

Ebenso ist aus derselben US-PS 3 605 865 eine Vorrichtung gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruches 2 bekannt.

Die Stabilisierungswindung sorgt für eine Abnahme der magnetischen Feldstärke längs der Seitenfläche der flüssigen Metallsäule, damit diese Metallsäule im Querschnitt eine Gestalt aufweist, die der des Stranges nahekommt. Parallel dazu bildet die Stabilisierungswindung gemeinsam mit dem Induktor ein elektrodynamisches Zweiphasen-System, das für die Erzeugung eines wandernden Magnetfeldes verantwortlich ist. Die elektromagnetischen, gegen den hauptsächlich Umlaufkreis gerichteten Kräfte begrenzen die Feldstärke auf Werte, die eine Stabilität des Giessvorganges sicherstellen.

Die genannte Stabilisierungswindung bewirkt jedoch keine wirksame Abnahme der Intensität des Kreislaufes des flüssigen Metalls im Sumpf. Dadurch ergeben sich beachtliche Schwierigkeiten für die Sicherung eines homogenen Stranggefüges, insbesondere beim Giessen von hochlegierten Aluminiumlegierungen. Die erhaltenen Stränge weisen eine ausgeprägte Streifigkeit auf, was sich ihrerseits bei den mechanischen Eigenschaften der hergestellten Stränge auswirkt.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum kontinuierlichen Stranggiessen von Metallen sowie eine Vorrichtung zu dessen Durchführung zu schaffen, bei denen durch das Vermeiden eines Kreislaufes des flüssigen Metalls im Sumpf und eine konstruktive Ausföhrung der Stabilisierungswindung Stränge mit homogenem Gefüge hergestellt werden können.

Die gestellte Aufgabe wird dadurch gelöst, dass das erfindungsgemäss vorgeschlagene Verfahren die im Kennzeichen des Patentanspruches 1 genannten Merkmale aufweist.

Die zur Durchführung des Verfahrens vorgeschlagene Vorrichtung weist gemäss der Erfindung die im Kennzeichen des Patentanspruches 2 angegebenen Merkmale auf.

Das vorliegende Verfahren zum kontinuierlichen Stranggiessen von Metallen gestattet es, die Intensität des Kreislaufes des flüssigen Metalls im Sumpf bedeutend zu ermässigen und mithin Stränge mit homogenem Gefüge zu erhalten. Dies resultiert daraus, dass der Stabilisierungswindung ein Strom zugeführt wird, der nach seiner Phase dem Induktorstrom um zwischen  $95^\circ\text{el}$  und  $165^\circ\text{el}$  nacheilt und dessen Amplitude sich auf 0,1 bis 0,4 bezogen auf die Amplitude des Induktorstromes beläuft. Falls die den Induktor und die Stabilisierungswindung durchfliessenden Ströme gleichphasig oder gegenphasig sind, entsteht kein wanderndes Feld, und die senkrechte Komponente einer elektromagnetischen, in der oberflächlichen Schicht der flüssigen Phase des Stranges vorhandenen Kraft fehlt praktisch. Wird die Phase um  $95^\circ\text{el}$  bis  $165^\circ\text{el}$  verschoben, bildet sich eine senkrechte Komponente  $F$  der elektromagnetischen Kraft, die den Wirbelkräften  $F_1$  des hauptsächlich Umlaufkreises nach oben entgegengerichtet ist. Je nach konkreten Werten der Phasenverschiebung und des Stromamplitudenverhältnisses stellen sich bestimmte Bedingungen des Kreislaufes, also der Intensität ein. Hierbei ist gemäss dem Dargelegten die Kreislaufgeschwindigkeit des flüssigen Metalls im Sumpf minimal und kommt Null nahe, so dass der Streifigkeit des Metalls völlig begegnet wird und sich die Güte des Stranges sowie dessen Strukturhomogenität verbessern.

Die vorliegende Vorrichtung zum kontinuierlichen Stranggiessen von Metallen ermöglicht die Durchführung des erfindungsgemässen Verfahrens und die Herstellung von Strängen mit homogenem Gefüge.

Nachstehend wird die Erfindung anhand einer Ausführungsform mit Hinweis auf die beigelegten Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine Vorrichtung zum kontinuierlichen Stranggiessen von Metallen im Längsschnitt,

Fig. 2 hauptsächliche Umlaufkreise des Metalls im Sumpf sowie die Wirkung der Wirbelkräfte im flüssigen Metall.

Das Verfahren zum kontinuierlichen Strangguss von Metallen zeigt sich darin, dass einer gekühlten Kokille das flüssige Metall ununterbrochen zugeführt wird. Man wirkt auf das flüssige Metall mit einem elektromagnetischen Feld ein, das in einem Induktor bei der Zuleitung eines elektrischen Wechselstromes erzeugt wird, sowie mit einem elektromagnetischen Feld einer Stabilisierungswindung zur Bildung einer flüssigen Metallsäule ein. Anschliessend wird die flüssige Metallsäule zur Herstellung eines Stranges abgekühlt. Hierbei wird der Stabilisierungswindung ein Strom zugeleitet, dessen Phase der des Induktorstromes um zwischen  $95^\circ$  el und  $165^\circ$  el nacheilt, während seine Amplitude sich auf 0,1 bis 0,4 bezogen auf die Amplitude des Induktorstromes beläuft. Durch dieses Verfahren werden Flach-, Rund- und Hohlstränge mit guter Oberflächenbeschaffenheit hergestellt.

Die Vorrichtung zum kontinuierlichen Stranggiessen von Metallen umfasst eine gekühlte Kokille 1 (Fig. 1), die einen elektromagnetischen Induktor 2, eine Stabilisierungswindung 3 und einen ringförmigen Kühler 4 aufweist. Die Stabilisierungswindung 3 besteht aus einem nichtmagnetischen Werkstoff und weist einen Querschnitt in Form eines Dreiecks auf. Eine Spitze des Dreiecks weist zum Induktor 2 hin. Die Stabilisierungswindung 3 befindet sich in unmittelbarer Nähe der Stirnseite des Induktors 2 und ist gleichachsig mit diesem.

Das Verhältnis der parallel zur Achse des Induktors 2 gemessenen Höhe h des Dreiecks zu dessen längster Seite  $\delta$  liegt in einem Bereich von 0,7 bis 0,96. Die genannte Spitze des Dreiecks erstreckt sich um ein dem 0,1- bis 0,5-fachen der Höhe C des Induktors 2 entsprechendes Mass in diesen hinein.

Der spezifische elektrische Widerstand  $\rho$  des Werkstoffes der Stabilisierungswindung 3 lässt sich aus der Beziehung

$$\rho = \frac{1}{K} \cdot f \cdot 10^{-9} \text{ Ohm.m}$$

errechnen, wobei f -Frequenz des den Induktor 2 durchfliessenden Stromes und  $k = 3$  oder 4 ist.

Der ringförmige Kühler 4 ist gleichachsig zum Induktor 2 angeordnet. Die Vorrichtung besitzt einen weiteren Kühler 5 zum Abkühlen der Stabilisierungswindung 3.

Der zusätzliche Kühler 5 ist als Mantelschuss 6 ausgebildet, der mit den Rändern mit der Stabilisierungswindung 3 luft- und gasdicht verbunden ist, wobei der dazwischen liegende Raum für einen Kühlflüssigkeitskreislauf dient. Stützen 7, 8 sind für die Zu- und Ableitung der Kühlflüssigkeit vorgesehen.

Ein Mittel 9 für die Befestigung und Verstellung der Stabilisierungswindung 3 längs der Achse der Kokille 1 weist eine Stiftschraube 10 auf, die mittels eines Gewindes 11 im Gehäuse des Kühlers 4 befestigt ist. Die Stiftschraube 10 durchsetzt eine Platte 12, welche mittels einer Mutter 13 ange-drückt ist. An der Platte 12 ist die Stabilisierungswindung 3 starr befestigt. In der Platte 12 ist eine Stellschraube 14 ein-

geschraubt, deren Ende auf einer am Gehäuse des Kühlers 4 befestigten Schutzplatte 15 abgestützt ist.

Das Gehäuse des ringförmigen Kühlers 4 setzt sich aus zwei miteinander luft- und gasdicht verbundenen Teilen zusammen, die Bohrungen 16 für die Zuführung einer Kühlflüssigkeit zur Strangoberfläche aufweisen. In der ringförmigen Eindrehung 17 des Gehäuses des Kühlers 4 ist der elektromagnetische Induktor 2 untergebracht.

Die Zuführung des flüssigen Metalls zur Kokille 1 erfolgt über eine Rinne 18 und einen Aufnahmetrichter 19, und dann kommt es auf eine auf dem Tisch 21 einer Giessmaschine befindliche Gespannplatte 20. Der Tisch 21 bewegt sich durch einen elektrischen Antrieb 22.

Die Betriebsweise der beschriebenen Vorrichtung zum kontinuierlichen Stranggiessen von Metallen ist wie folgt.

Vor dem Giessanfang wird die Gespannplatte 20 mit Hilfe des elektrischen Antriebes 22 der Giessmaschine ins Innere des Induktors 2 eingefahren. Der Seitenfläche der Gespannplatte 20 wird eine Kühlflüssigkeit durch die Bohrungen 16 des ringförmigen Kühlers 4 und dem Induktor 2 eine Wechselspannung zugeführt. Nachher wird das flüssige Metall über die Rinne 18 dem Aufnahmetrichter 19 zugeleitet, von dem es in die Kokille 1 auf die noch ortsfeste Gespannplatte 20 gelangt. Unter Einwirkung des elektromagnetischen Feldes des Induktors 2 bildet sich eine flüssige Metallsäule. Sobald die flüssige Metallsäule eine vorbestimmte Höhe von 40 bis 50 mm erreicht hat, bewegt sich dank des elektrischen Antriebes 22 die Gespannplatte 20 nach unten mit einer Geschwindigkeit, die durch die Gegebenheiten des zu erzeugenden Stranges bedingt ist.

Am Giessanfang erfolgt die Kristallisation des Metalls durch die Ableitung der Wärme an die Gespannplatte 20, und dann wird die Kühlflüssigkeit je nach dem Absenken des Stranges direkt an die Oberfläche des Stranges geleitet, wodurch eine Strangkruste im Wirkbereich des magnetischen Feldes des Induktors 2 gebildet wird.

Durch die Stromstärke des Induktors 2 werden die Querschnitte der zu bildenden flüssigen Metallsäule und folglich die Form des Stranges festgelegt. Die Gestalt des Stranges wird durch die Form des Induktors 2 vorbestimmt. Um nun beim Betrieb einer Deformation zu begegnen, ist der Induktor 2 in der ringförmigen Eindrehung 17 untergebracht.

Im Giessvorgang werden innerhalb der Stabilisierungswindung 3 durch das magnetische Feld des Induktors 2 Wirbelströme induziert. Diese Ströme, indem sie mit dem Strom des Induktors 2 zusammenwirken, erzeugen in der flüssigen Metallsäule elektromagnetische Kräfte F (Fig. 2), die gegen die Wirkung der Wirbelkräfte  $F_1$  gerichtet sind, die für den Kreislauf der Schmelze verantwortlich sind, und mithin lassen sie die Intensität der Kreislaufes abnehmen.

Die Wechselwirkung des Stromes der Stabilisierungswindung 3 mit dem Induktorstrom steigt an, und folglich nimmt die Intensität des Kreislaufes mit der Vergrößerung der Masse des Querschnittes der Stabilisierungswindung 3 ab. Mit der Verminderung des Verhältnisses  $h/\delta$  und der Vergrößerung der Tauchtiefe der Stabilisierungswindung in den Induktor 2 verringert sich die Intensität des Kreislaufes. Dies wird dadurch erreicht, dass eine Vergrößerung des Querschnittes der Stabilisierungswindung 3 und deren Tauchtiefe in den Induktor 2 eine Verminderung des Phasenverschiebungswinkels zwischen den Strömen des Induktors 2 und der Stabilisierungswindung 3 sowie eine Vergrößerung des Amplitudenverhältnisses der Ströme der Stabilisierungswindung 3 und des Induktors 2 nach sich ziehen.

Damit der Phasenverschiebungswinkel zwischen den Strömen des Induktors 2 und der Stabilisierungswindung 3 und das Amplitudenverhältnis dieser Ströme immer im Bereich der vorstehend angegebenen optimalen Werte liegen,

muss man den spezifischen Widerstand  $\rho$  des Werkstoffes, aus dem die Stabilisierungswindung 3 hergestellt ist, ausgehend von der Gleichung

$$\rho = \frac{1}{K} \cdot f \cdot 10^{-9} \text{ Ohm} \cdot \text{m}$$

auswählen, wobei  $K = 3$  oder  $4$  ist.

Der Querschnitt der Stabilisierungswindung 3 und deren Tauchtiefe im Induktor 2 richten sich nach der Form, den Abmessungen und der Legierung des herzustellenden Stranges. Die erforderliche Lage der Stabilisierungswindung wird in jedem konkreten Fall eingestellt. Die Einstellung der Stabilisierungswindung 3 erfolgt mit der Stellschraube 14, und wird mit Hilfe der Stiftschraube 10 und der Mutter 13 arretiert.

Nach dem Giessen eines Stranges mit der vorbestimmten Länge wird die Metallzufuhr eingestellt, die Gespannplatte 20 stillgelegt und die Kühlflüssigkeitszuführung abgestellt. Nach endgültiger Erstarrung des oberen gegossenen Abschnittes des Stranges wird der Induktor 2 spannungslos gemacht.

Nachstehend wird die Erfindung anhand von konkreten Beispielen erläutert.

#### Beispiel 1

Man goss Stränge mit einem Durchmesser von 345 mm aus einer Legierung vom Typ Duralumin bei einer Frequenz von  $f = 2400$  Hz und einer Ausziehgeschwindigkeit von 37

4

bis 38 mm/min. Der Strom der Stabilisierungswindung 3 wurde mit Hilfe eines Anpassungstransformators mit einem veränderlichen Übersetzungsverhältnis und die Grösse des Phasenverschiebungswinkels zwischen den Strömen des Induktors 2 und der Stabilisierungswindung 3 mit Hilfe eines statischen Phasenreglers eingestellt. Es wurde gefunden, dass bei einem Verhältnis der Ströme in der Stabilisierungswindung 3 und dem Induktor 2 von 0,4 der Metallkreislauf einem Minimum nahekommte. Wenn der Strom in der Stabilisierungswindung 3 dem Induktorstrom um  $135^\circ$  eilnachteilt, liegt die Laufgeschwindigkeit der Schmelze unterhalb von 0,5 cm/s. Durch die genannten Bedingungen des Kreislaufes wird ein zulänglich homogenes Gefüge ohne Streifigkeit erhalten.

15

#### Beispiel 2

Man goss Stränge mit einem Durchmesser von 345 mm aus einer Legierung vom Typ Duralumin bei einer Frequenz von  $f = 2400$  Hz und einer Ausziehgeschwindigkeit von 37 bis 38 mm/min. Man bediente sich hierbei abwechselnd dreier Stabilisierungswindungen 3 mit einem Verhältnis  $h/\delta$  von jeweils 0,96; 0,86; 0,71. Bei  $d = 0,25$  C und anderen gleichen Bedingungen wurde die minimale Geschwindigkeit der Zirkulation beim Verhältnis  $h/\delta = 0,71$  erreicht. Die Gefügeuntersuchung eines Stranges in Quer- und Längsrichtung, die an Makroprobekörpern durchgeführt wurde, hat ergeben, dass mit der Verminderung des Verhältnisses  $h/\delta$  das Gefüge des Stranges homogener wird.

30

35

40

45

50

55

60

65

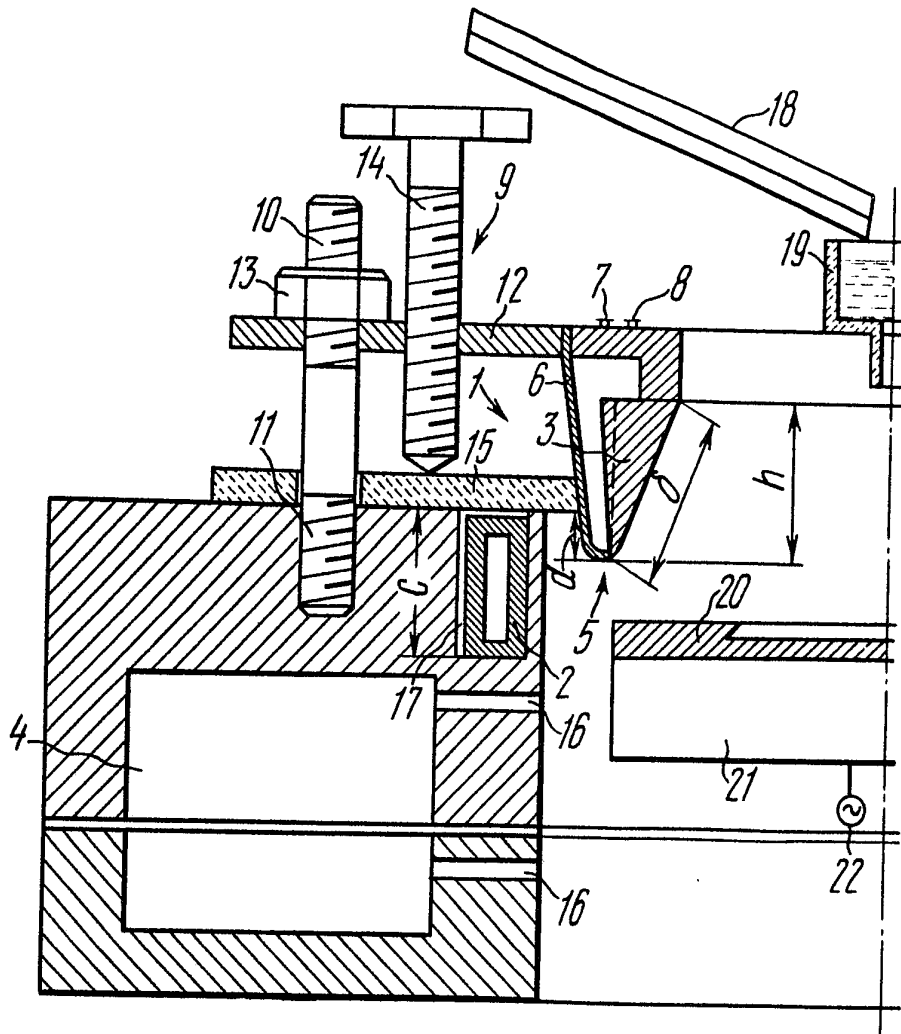


FIG. 1

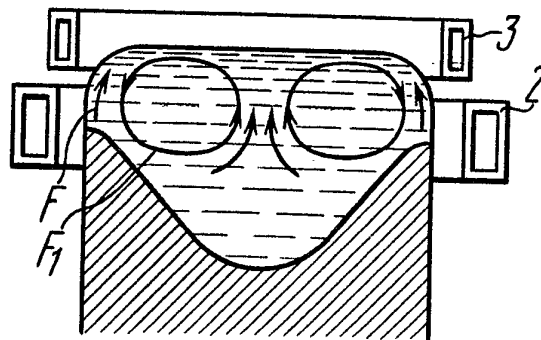


FIG. 2