

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

Anmeldenummer: **84116188.8**

Int. Cl.⁴: **H 05 B 7/06, F 27 D 11/10**

Anmeldetag: **22.12.84**

Priorität: **31.01.84 CH 444/84**

Anmelder: **BBC Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie.,
Haselstrasse, CH-5401 Baden (CH)**

Veröffentlichungstag der Anmeldung: **07.08.85**
Patentblatt 85/32

Benannte Vertragsstaaten: **AT CH DE FR GB IT LI SE**

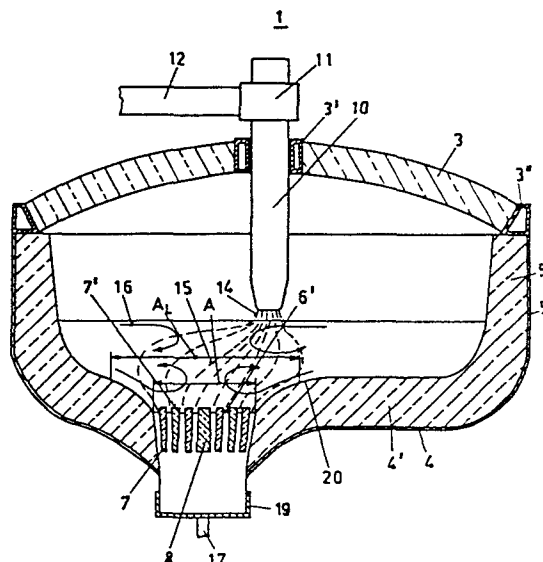
Erfinder: **Bühler, Karl, Oberdorfstrasse 28,
CH-5415 Nussbaumen (CH)**

Bodenelektrodenanordnung für einen elektrischen Ofen.

Bodenelektroden (6) von Gleichstromlichtbogenöfen sind, insbesondere in der Überhitzungsphase des Schmelzprozesses, sehr grossen thermischen Beanspruchungen unterworfen. Infolge einer durch elektromagnetische Kräfte hervorgerufenen Schmelzbadströmung wird das Wärmeangebot aus dem überhitzten Schmelzbad auf die Bodenelektrode noch verstärkt. Eine erfindungsgemässe Gestaltung des Ofenherdes (20) im Bereich der Bodenelektrode (6) wird innerhalb durch Exponentialfunktionen angegebenen Grenzen definiert, wobei für das Verhältnis des Querschnittes (A_L) des Schmelzbades (13) zum Querschnitt (A) der Bodenelektrode (6) in dessen Schmelzbadkontaktfläche (6', 7') Minimal- und Maximalwert angegeben sind. Nach einer weiteren erfindungsgemässen Gestaltung des Ofenherdes (20) im Bereich der Bodenelektrode (6) wird dieser kegelförmig ausgebildet, wobei die Kegelmantelfläche mit der Schmelzbadkontaktfläche einen Winkel von mindestens 20° einschliesst.

Die erfindungsgemässe trompetenförmige oder konische Erweiterung der Ofenherdfläche (20) im Bereich der Bodenelektrode ermöglicht einen kontinuierlicheren Übergang des Stromes und des elektromagnetischen Feldes in dem genannten Bereich, wodurch gleichfalls die Badbewegung in der Nähe der Schmelzbadkontaktfläche (6', 7') der Bodenelektrode (6) verringert wird. Die Anordnung der Bodenelektrode (4) in einer Ausstülpung des Ofenherdes (20) schützt die Bodenelektrode (6) vor der sich im gesamten Schmelzbad (13) ausbreitenden

Strömung. Darüber hinaus ist für die Einleitung eines nachfolgenden Schmelzprozesses lediglich ein Metallsumpf in der Ausstülpung erforderlich, und nicht wie üblich ein Metallsumpf, der sich über die ganze Ofenherdfläche (20) erstreckt.



0150483

8/84

31.1.84

KT/eh

- 1 -

Bodenelektrodenanordnung für
einen elektrischen Ofen

Die Erfindung bezieht sich auf einen elektrischen Ofen nach dem Gattungsbegriff des Patentanspruchs 1. Ein derartiger Ofen ist beispielsweise aus der FR-PS 382.457 bekannt.

- 5 Die Fortschritte in der Entwicklung von Halbleiterbauelementen in den vergangenen Jahren waren Anlass dafür, Gleichstromlichtbogenöfen in zunehmendem Ausmass in der Eisen- und Stahlindustrie zur Erschmelzung, vornehmlich von Elektrostahl, einzusetzen.
- 10 Aufbau und Wirkungsweise von Gleichstromlichtbogenöfen sind beispielsweise aus der Zeitschrift "Stahl und Eisen", 103 (1983) Nr. 3, vom 14. Februar 1983, Seiten 133 bis 137 bekannt.

- 15 Zur Optimierung der elektrischen bzw. thermischen Verhältnisse hat es sich beim Gleichstromlichtbogenofen

als vorteilhaft erwiesen, den Lichtbogen zwischen einer oder mehreren oberhalb des Schmelzgutes angeordneten Elektrode(n) und dem Schmelzgut selbst auszubilden. Für die Rückleitung des Gleichstromes ist mindestens
5 eine im Boden des Ofens und mit der Schmelze in Berührung stehende Elektrode, die Bodenelektrode, vorgesehen. Die Bodenelektrode ist einer anhaltenden sehr hohen thermischen Beanspruchung ausgesetzt, für welche sich Materialien mit einem hohen Erweichungs- und Schmelz-
10 punkt, beispielsweise Graphit, eignen. Bei Verwendung von Kohlenstoffelektroden wird aber die Schmelze einerseits aufgekohlt. Dies ist jedoch insbesondere bei der Herstellung von niedrig gekohnten Stählen unerwünscht. Andererseits wird die Kohlenstoffelektrode aufgezehrt,
15 wodurch der Ofenboden geschwächt und die elektrische Leistungsübertragung ungünstig beeinflusst werden kann.

Der Ofen gemäss der FR-PS 382.457 besteht aus einem kombinierten Siemens-Martin- und Lichtbogenofen, mit dem einerseits der Vorteil des S-M-Ofens - die Möglichkeit
20 metallurgische Schlackenarbeit durchzuführen - und andererseits der Vorteil des Lichtbogenofens - das Schmelzbad zu überhitzen und feiningsmetallurgische Prozesse zu vollziehen - gleichzeitig nutzbar gemacht werden können.

Mehrere Bodenelektroden sind dabei in einem, in Längsrichtung sich erstreckenden gewölbten Ofenboden angeordnet.
25 Durch das elektromagnetische Feld des durch das Schmelzbad von der Bodenelektrode zur oberen Elektrode fliessenden Stromes wird eine Badbewegung verursacht, die besonders stark an den Schmelzbadkontaktflächen der Bodenelektroden ist, an denen die elektromagnetische Feldstärke stark
30 ändert, d.h., an jenen Uebergangsstellen, an denen der elektrische Strom von dem relativ kleinen Querschnitt der Bodenelektrode zu dem relativ grossen Querschnitt des Schmelzbades übertritt.

- Die Schmelzbadströmung wirkt auf die Schmelzbadkontaktflächen ein, die nun unter Temperatureinfluss etwas hinter die Herdfläche zurückschmelzen, wodurch sich kleine Buchten, sogenannte Kolke ausbilden. Infolge der relativ grossen kinetischen Energie der Badströmung, wird eine Querströmung (Sekundärströmung) in diesen Buchten angeregt. Dadurch werden die Kontaktflächen noch weiter abgeschmolzen. Das Abschmelzen der Kontaktflächen der Bodenelektrode an ihrem, dem Schmelzbad zugewandten Ende, ist aber möglichst zu vermeiden oder wenigstens auf ein unschädliches Mass zu reduzieren, da die Kolke (örtliche Vertiefungen) nicht nur auf die Kontaktflächen beschränkt bleiben, sondern auch die angrenzenden Bereiche des feuerfesten Baustoffes erfassen, so dass kraterförmige Ausnehmungen entstehen. Beim Ausgiessen der flüssigen Charge aus dem Ofen werden die Kolke nun ebenfalls entleert und es entstehen Hohlräume, die eine nachfolgende elektrische Kontaktierung fester, aufzuschmelzender Bestandteile erschweren.
- Die Stärke der Badbewegung ist selbstverständlich auch abhängig von der Stärke des elektromagnetischen Feldes. Dieses wird bei einer vorgegebenen Stromstärke umso schwächer, je länger die magnetischen Feldlinien sind, d.h. je grösser der Umfang bzw. der Durchmesser der Bodenelektrode ist.

Da die auf das Schmelzbad gerichteten Kräfte senkrecht zu den elektromagnetischen Feldlinien einwirken, bildet sich eine Badbewegung aus, die senkrecht zu den magnetischen Feldlinien, d.h. von aussen gegen die Achse der Bodenelektrode zu, gerichtet ist.

Die Erfindung, wie sie in den Ansprüchen gekennzeichnet ist, löst die Aufgabe, einen elektrischen Ofen der eingangs genannten Art anzugeben, dessen Bodenelektrode eine hohe Lebensdauer aufweist.

- Wesentliches Kennzeichen der Erfindung ist, dass einerseits die Herdfläche so gestaltet ist, dass das Verhältnis vom Querschnitt der Herdfläche zum Querschnitt der Bodenelektrode in deren Schmelzbadkontaktfläche in einem Bereich liegt, der durch eine Exponentialfunktion angegeben ist oder dass zum anderen die Herdfläche wenigstens annähernd kegelstumpfförmig ausgebildet ist und die Kegelmantelfläche mit der Schmelzbadkontaktfläche einen Winkel α von mindestens 20° einschliesst.
- 10 Augenfälligster Vorteil ist dabei, das durch den kontinuierlichen sukzessive sich erweiternden Uebergang des stromführenden Querschnittes von der Bodenelektrode in das Schmelzbad ebenfalls die elektromagnetische Feldstärke kontinuierlich - und nicht abrupt - in der Grenzschicht zwischen Bodenelektrode und Schmelzbad geändert wird. Daraus resultiert eine Verminderung der die Schmelzbadbewegung hervorruhenden Kräfte. Da die auf das Schmelzbad gerichteten Kräfte senkrecht zu den elektromagnetischen Feldlinien auf das Schmelzbad einwirken, bildet sich eine Badbewegung aus, die von aussen gegen die Achse der Bodenelektrode zu gerichtet ist. Durch Anordnung der Bodenelektrode(n) in Ausstülpung(en) des Ofenherdes wird die sich im ganzen Schmelzbad ausbreitende und radial und axial verlaufende Schmelzbadströmung daran gehindert, unmittelbar auf die Bodenelektrode(n) einzuwirken und die Wärme der überhitzten Schmelze an diese abzugeben. Darüber hinaus ist es für einen nachfolgenden Schmelzvorgang nicht wie üblich erforderlich, dass der für eine elektrische Kontaktierung notwendige Sumpf nahezu den ganzen Ofenherd bedecken muss, sondern es genügt lediglich ein Sumpf in der (den) Ausstülpung(en), wobei zusätzlich ein Mindestmass von beispielsweise Shredderschrott ausreicht, um den Schmelzbeginn einzuleiten.

Die Gestaltung der Herdfläche gemäss Anspruch 3 hat den Vorteil, dass die Ausstülpung(en), in denen sich die Bodenelektrode(n) befinden, dem jeweiligen Stromdurchfluss derart angepasst werden kann, dass an der
5 Schmelzbadkontaktfläche eine minimale Schmelzbadbewegung erzielt wird.

Die Weiterbildung des Erfindungsgegenstandes gemäss Anspruch 4 sieht vor, dass sowohl der metallische, als auch der nichtmetallische Bestandteil der Schmelzbadkontaktfläche eine Länge im wesentlichen in Richtung des
10 elektromagnetischen Feldes der stromdurchflossenen Bodenelektrode aufweisen, die grösser als deren Breite ist. Dadurch wird die in der Ueberhitzungsphase der Schmelzoperation die durch elektromagnetischen Kräfte hervorgerufenen Schmelzbadbewegung noch stärker daran gehindert
15 wird, unmittelbar auf die metallischen Kontaktflächen der Bodenelektrode einzuwirken und die Wärme der überhitzten Schmelze and diese abzugeben. Der metallische Bestandteil der Schmelzbadkontaktfläche weicht zwar
20 unter Temperatureinfluss etwas hinter deren nichtmetallischen Bestandteil zurück, bleibt aber dann stationär. In der Schmelzbadkontaktfläche werden auf diese Weise zwei Zonen ausgebildet, und zwar einmal die Zone des
25 dammartig vorstehenden nichtmetallischen, erst bei höheren Temperaturen schmelzenden Bestandteiles und die leicht zurückgeschmolzene Zone der elektrisch leitenden Kontaktfläche. Diese Anordnung der beiden Bestandteile
30 der Schmelzbadkontaktfläche in Richtung des elektromagnetischen Feldes verhindert somit auch bei starker Ueberhitzung des Schmelzbades ein unkontrolliertes Abschmelzen des metallischen Teiles der Bodenelektrode in Richtung des Ofengefässbodens. Die Abschmelztiefe der metallischen Schmelzbadkontaktfläche kann, wie bereits erwähnt, über
35 den ganzen Schmelzprozess nahezu konstant (stationär) gehalten werden, da die Einwirkung der Badströmung und

der damit verbundene intensive Wärmeübergang von Schmelzbad auf die metallische Kontaktfläche durch die Dämme des nichtmetallischen Bestandteiles und durch die relativ geringe Breite der metallischen Kontaktfläche im Verhältnis zu deren Länge stark herabgesetzt wird. Infolge der geringen Breite des Spaltes sind die Unterschiede der elektromagnetischen Feldstärke im Spalt klein. Dadurch ergeben sich entsprechend kleine, die Schmelzflüssigkeit im Spalt antreibende Kräfte. Die Temperatur des Schmelzbades im Spalt entspricht oben derjenigen des überhitzten Schmelzbades und ist unten, in der Nähe der Kontaktfläche, gleich der Schmelztemperatur oder liegt geringfügig darunter. Diesem Temperaturunterschied entspricht ein Unterschied in der spezifischen Dichte der Flüssigkeit, die oben leichter und unten schwerer ist. Dieser Dichtenunterschied der Flüssigkeit im Spalt wirkt einer Bewegung der Schmelzflüssigkeit im Spalt entgegen.

Nach Anspruch 5 ist der metallische und der nichtmetallische Elektrodenbestandteil alternativ zumindest abschnittsweise hohlzylindrisch oder mäanderförmig oder rechteckig oder spiralförmig ausgebildet, wobei der Anteil der Fläche des metallischen Bestandteiles 10 bis 70 %, insbesondere 30 bis 60 % der gesamten Schmelzbadkontaktfläche beträgt.

Die Ausgestaltung entsprechend Anspruch 6 sieht einen Zylinder aus einem Metall oder einem Nichtmetall innerhalb der hohlzylindrischen oder mäanderförmigen oder rechteckigen oder spiralförmigen Ausbildung beider Elektrodenbestandteile vor. Der Vorteil entsprechend den Ansprüchen 5 und 6 ist darin zu sehen, dass durch diese konstruktiven Massnahmen die Lebensdauer der Bodenelektrode erhöht sowie die Herstellungskosten reduziert werden können.

Die Verstrebungen gemäss Anspruch 7 haben den Vorteil, dass sich die Dämme des nichtmetallischen Bestandteiles der Bodenelektrode bei zurückgeschmolzener metallischen Kontaktfläche gegenseitig abstützen können. Die verbesserte mechanische Stabilität wirkt sich insbesondere günstig bei Lichtbogenöfen mit grossen Leistungen aus, die eine starke Badbewegung in der Nähe der Schmelzbadkontaktfläche der Bodenelektrode aufweisen. Die Versetzung der Verstrebungen, sowohl in radialer als auch in Umfangsrichtung der Bodenelektrode bewirkt eine nochmalige mechanische Verstärkung des nichtmetallischen Bestandteiles der Bodenelektrode in ihrer Schmelzbadkontaktfläche. Bei den metallischen Verstrebungen ist der Vorteil der Versetzungen darin zu erkennen, dass die Breite des Kontaktflächenspaltes im Verhältnis zur Länge begrenzt werden kann.

Die Wahl des Verhältnisses von der Dicke des metallischen zum nichtmetallischen Bestandteiles der Bodenelektrode in ihrer Schmelzbadkontaktfläche entsprechend Anspruch 8 hat den Vorteil, dass einmal die elektrisch leitenden Kontaktflächen in schmale Zonen aufgeteilt werden können, die von der Schmelzbadströmung weitgehend unbeeinflusst bleiben, und zum anderen kann der Durchmesser bzw. der Umfang der Bodenelektrode gezielt auf eine vorausberechenbare Badströmung hin dimensioniert werden.

Gemäss Anspruch 9 weist der metallische Bestandteil der Bodenelektrode vorzugsweise dem Schmelzbad ähnliche chemische Gehalte auf und deren nichtmetallischer Bestandteil besteht aus einem handelsüblichen feuerfesten Baustoff. Dadurch wird sowohl eine wirtschaftliche Fertigung der Bodenelektrode, als auch ein kostengünstiger Lichtbogenofenbetrieb ermöglicht.

Die Erfindung wird nachstehend anhand von in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert:

- Fig. 1 einen Vertikalschnitt durch einen Lichtbogenofen mit einer Bodenelektrode in schematischer Darstellung,
- 5 Fig. 2a eine Draufsicht auf die Bodenelektrode mit nicht-konzentrischer Anordnung der gemäss Fig. 2b in schematischer Darstellung,
- Fig. 2b eine Seitenansicht der Bodenelektrode in schematischer Darstellung,
- 10 Fig. 3 ein Schaubild des Querschnittes der Bodenelektrode in bezug auf unterschiedliche Gestaltung des Ofenherdes,
- Fig. 4 eine Draufsicht auf die Bodenelektrode mit hohlzylindrischer Anordnung der Elektrodenbestandteile,
- 15 Fig. 5 eine vergrösserte Darstellung eines Vertikalschnittes durch die Bodenelektrode gemäss Fig. 4,
- Fig. 6a eine Draufsicht auf die Bodenelektrode in mäanderrförmiger Ausbildung eines Elektrodenbestandteiles,
- 20 Fig. 6b eine Draufsicht auf die Bodenelektrode in rechteckiger Ausbildung eines Elektrodenbestandteiles, und
- Fig. 6c eine Draufsicht auf die Bodenelektrode in spiralförmiger Ausbildung beider Elektrodenbestandteile.
- 25 Fig. 1 zeigt den Lichtbogenofen 1 mit Ofengefäss 2 und Ofendeckel 3, wobei der Ofendeckel 3 sich mit dem Ofendeckelring 3" auf dem Ofengefäss 2 abstützt. Das Ofengefäss 2 besteht aus dem Gefässboden 4 mitsamt der feuer-

- festen Auskleidung 4', sowie aus der Gefässwand 5 mit-
samt der feuerfesten Auskleidung 5'. Oberhalb des Schmelz-
bades 13 ist eine Kohlenstoffelektrode 10 angeordnet,
welche durch eine Oeffnung des Ofendeckels 3 hindurch-
ragt. Zur Kühlung der Elektrode 10 ist ein Kühlring 3'
vorgesehen. Die Elektrode 10 ist in einer Halterung 11
eines Elektrodentrages 12 gehalten. Der Elektroden-
tragarm 12 ist mit einer in Fig. 1 nicht dargestellten
Elektrodenregulierung verbunden.
- 10 Der Ofengefässboden 4, 4' weist, wie in Fig. 1 deutlich
ersichtlich, eine zur vertikalen Ofenachse seitlich
versetzte Ausstülpung auf, in der die Bodenelektrode
6 exzentrisch zur Kohlenstoffelektrode 10 angeordnet
ist.
- 15 In der beispielsweise Ausführungsform gemäss Fig. 1
ist die ebene Herdfläche 20 im Bereich der Ausstülpung
trompetenförmig gestaltet. Dadurch ergibt sich ein konti-
nuierlicher Uebergang vom Querschnitt A der Schmelzbad-
kontaktfläche 6', 7' der Bodenelektrode 6 zum Querschnitt
20 A_L im Schmelzbad 13 in einem bestimmten Abstand von
der Schmelzbadkontaktfläche 6', 7' der Bodenelektrode 6.
Auf das Verhältnis von $A_L : L$ wird noch näher bei der
Beschreibung von Fig. 3 Bezug genommen.
- Die Bodenelektrode 6 wird unterhalb des Ofengefässbodens
25 4 durch ein schematisch dargestelltes, als Kontakthülse
ausgebildetes Anschlussstück 19 gehalten, welches gleich-
zeitig zur Verbindung der elektrischen Stromzuführung
mittels der elektrischen Anschlussleitung 17 dient.
- In der Bodenelektrode 6 sind ihrem, dem Schmelzbad 13
30 zugewandten Teil, nichtmetallische Bestandteile 7, 8
als Einsätze in die Bodenelektrode 6 eingefügt, welche
sich annähernd bis zur Hälfte der Bodenelektrode 6,
in axialer Richtung betrachtet, erstrecken. Diese bestehen
in der vorliegenden, in Fig. 1 dargestellten Ausführungs-
35 form, aus drei hohlzylindrischen Einsätzen 7 und einem

zentralen Einsatz 8, wodurch die kreisringflächenartig ausgebildeten metallischen Bestandteile 6' der Schmelzbadkontaktfläche 6', 7' gegenseitig voneinander in schmale Zonen unterteilt werden. Die nichtmetallischen Bestandteile 7, 8 der Bodenelektrode 6 bestehen aus einem handelsüblichen feuerfesten Baustoff, beispielsweise Dolomit oder Magnesit.

In Fig. 1 sind die metallischen Bestandteile 6' der Bodenelektrode 6 etwas zurückgeschmolzen und die dammartig hervorstehenden und in das Schmelzbad 13 hineinragenden Einsätze 7, 8 sind gut erkennbar. Der zwischen der Spitze der oberen Elektrode 10 und der Oberfläche des Schmelzbades 13 gebildete Lichtbogen ist mit der Bezugsziffer 14 und die elektrischen Stromlinien mit der Bezugsziffer 15 bezeichnet. In Fig. 1 sind schematisch symmetrisch zur vertikalen Ofenachse verlaufende Teilströme 16 der Schmelzbadbewegung dargestellt, die sowohl eine axiale als auch eine radiale Komponente aufweisen. Im zentralen Bereich des Schmelzbades 13 bildet sich zunächst einmal eine axiale Aufwärtsströmung von der Bodenelektrode 6 in Richtung zum Mittelbereich des Schmelzbades 13 und zum anderen eine axiale Abwärtsströmung von der Badoberfläche in Richtung zum Mittelbereich des Schmelzbades 13, aus. Die Strömung 16 wird dort umgelenkt und richtet sich radial nach aussen gegen die Gefäßwand 5, 5'. Nach abermaliger Umlenkung verläuft die Strömung 16 wiederum radial zum Ofeninneren hin, streicht über die als Dämme wirkenden Einsätze 7, 8 hinweg, so dass die Schmelzbadkontaktflächen 6' weitgehend unberührt bleiben.

In Fig. 2a und 2b ist ein Ausführungsbeispiel dargestellt, bei dem sowohl die metallischen 6', als auch die nichtmetallischen Bestandteile 7' der Bodenelektrode 6 dem, in bezug auf die Achse der Bodenelektrode 6 nichtkonzentrischen Verlauf der magnetischen Feldlinien 18, ange-

passt sind. Diese Nichtkonzentrizität der magnetischen Feldlinien 18 wird hervorgerufen durch den relativ hohen elektrischen Strom, welcher durch die elektrische Anschlussleitung 18 über die Kontakthülse 19 seitlich der Bodenelektrode zugeführt wird. Das daraus resultierende magnetische Feld verschiebt nun das elektromagnetische Feld in der Bodenelektrode 6 in die entgegengesetzte Richtung zur elektrischen Anschlussleitung 18. Die metallischen 6' und die nichtmetallischen Bestandteile 7' sind gemäss Fig. 2a dem magnetischen Feld angepasst. Daraus ergibt sich eine asymmetrische Aufteilung der Bestandteile 6', 7' in bezug auf die Achse der Bodenelektrode 6', wie sie in Fig. 2a zu erkennen ist.

In Fig. 2b ist schematisch dargestellt, dass die Herdfläche 20 konisch ausgebildet ist, wobei der Winkel zwischen der Herdfläche 20 und der Schmelzbadkontaktfläche 6', 7' mindestens 20° beträgt.

Im Schaubild gemäss Fig. 3 ist das Verhältnis des Querschnittes A_L in der Herdfläche 20 zum Querschnitt A der Schmelzbadkontaktfläche 6', 7' der Bodenelektrode 6 im Abstand $L : R$ des Schmelzbades 13 von der Kontaktfläche 6', 7' dargestellt. Die Kennlinie 21 bezeichnet dabei das kleinste $A_L : A$ -Verhältnis für die Ausbildung der Herdfläche 20 und die Kennlinie 21 das grösste $A_L : A$ -Verhältnis. D.h. innerhalb der Grenzwerte, die durch die Kennlinien 21, 22 in einem Abstand $L : R$ von der Schmelzbadkontaktfläche 6', 7' der Bodenelektrode 6 definiert sind, wird die erfindungsgemässe Gestaltung der Herdfläche 20 vorgenommen, und dadurch eine optimale Verminderung der Schmelzbadströmung 16 in der Schmelzbadkontaktfläche 6', 7', erreicht. Die Kennlinien 21, 22 stellen jeweils Exponentialfunktionen dar, die das Querschnittsverhältnis $A_L : A$ bis zu einem Abstand von der

Schmelzbadkontaktfläche 6', 7' in den Ofenherd 20 hinein
- über die gesamte vertikale Länge der Ausstülpungen -
festlegen, bis der Ofenherd in seinen horizontalen Bereich
übergeht.

5 Fig. 4 zeigt in Draufsicht die Bodenelektrode 6, welche
in die feuerfeste Auskleidung 4' des Ofengefäßsbodens 4
eingebaut ist. Die Bodenelektrode 6 weist in diesem
Ausführungsbeispiel einen äusseren und einen inneren
jeweils kreisringförmigen metallischen Bestandteil 6'
10 der Schmelzbadkontaktfläche 6', 7' auf, die beide durch
einen, als Damm dienenden feuerfesten Einsatz 7 vonei-
nander getrennt sind. Der mittlere metallische Bestand-
teil 6' hingegen besteht aus vier kreisringförmigen
Abschnitten, die jeweils durch um 90° versetzte Durch-
15 brüche die volle Kreisringfläche unterbrechen. In diesen
Durchbrüchen befinden sich Verstrebungen 7", welche
die beiden aus einem feuerfesten Baustoff bestehenden
Einsätze 7 zu einem mechanisch festen Verbund vereinigen.
Im Zentrum der Bodenelektrode 6 ist ein zentraler, aus
20 feuerfestem Baustoff bestehender Einsatz 8 angeordnet.
Die elektromagnetischen Feldlinien, welche in Umfangsrich-
tung der Bodenelektrode 6 verlaufen, sind durch die
gestrichelte Linie mit der Bezugsziffer 18 angegeben.
Senkrecht zu den Feldlinien 18 und in radialer Richtung
25 zur Bodenelektrode 6 wirken die Kräfte, welche die Schmelz-
badströmung verursachen. Sie sind durch die Pfeile mit
der Bezugsziffer 16 schematisch dargestellt.

In Fig. 5 sind die metallischen Bestandteile 6' der
Schmelzbadkontaktfläche 6', 7' sehr weit zurückgeschmol-
30 zen dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass die
Schmelzbadbewegung entsprechend der Pfeilrichtung 16
über die als Dämme wirkenden Einsätze 7, 8 hinwegstreicht
und die relativ schmalen kreisringförmigen Kontaktflächen
6' von der Schmelzbadbewegung 16 überhaupt nicht berührt

werden. Lediglich im oberen Teil der durch die Einsätze 7, 8 gebildeten Spalten wirkt eine durch die kinetische Energie der Hauptströmung 16 angeregte Querströmung ein, die aber die Kontaktfläche 6' nicht berührt. Die
5 Breite des nichtmetallischen Bestandteiles 7, 8 ist mit b_N und diejenige des metallischen Bestandteiles 6' mit b_M bezeichnet.

Die abschnittsweise unterbrochene hohlzylindrische Ausbildung der Dämme 7 bietet ausserdem den Vorteil, dass
10 beim Ausleeren der Schmelze, wenn der Lichtbogenofen gekippt wird, flüssige Anteile der Schmelze zwischen den Dämmen 7 verbleiben und dort wieder erstarren.

Würden nämlich die flüssigen Anteile der Kontaktflächen 6' zwischen den Dämmen 7, 8 beim Ausleeren des Ofens
15 mitausgegossen, so wäre das für den nachfolgenden Schmelzvorgang problematisch, und zwar aus folgenden Gründen: Die relativ spröden Dämme 7, 8, wären in ihrem dem Schmelzbad 13 zugewandten Teil lediglich durch die Verstrebungen 7' gehalten und der metallisch stützende Teil der Kontakt-
20 flächen würde entfallen. Dies birgt die Gefahr einer Zerstörung der oberen Teile der Dämme 7, 8 beim nachfolgenden Chargiervorgang in sich. Darüber hinaus wäre eine einwandfreie elektrische Kontaktierung zwischen den Kontaktflächen 6' und dem festen Chargiergut bei Beginn
25 eines erneuten Schmelzvorganges infrage gestellt.

Es ist selbstverständlich, dass eine beliebige Anzahl von Dämmen 7, 8 innerhalb der Bodenelektrode 6 angeordnet sein können. Dadurch wird bei einer vorgegebenen Stromstärke und dem damit festgelegten elektrisch leitenden
30 Teil der Bodenelektrode 6 deren Umfang bzw. deren Durchmesser vergrössert. Je grösser aber nun der Umfang der Bodenelektrode 6 ist, umso länger werden die elektromagnetischen Feldlinien 18 und umso stärker wird die Bewegung des Schmelzbades 13 reduziert.

Die Einfügung von elektrisch nichtleitenden Dämmen 7, 8 in die Bodenelektrode 6 bewirkt bei gleichbleibendem leitenden Querschnitt der metallischen Kontaktfläche 6' einmal eine Herabsetzung der Schmelzbadströmung und
5 zum anderen werden die Kontaktflächen 6' durch die Dämme 7, 8 vor unerwünschter Schmelzbadbewegung geschützt. Bei der zurückgeschmolzenen Kontaktfläche ist die Ausbildung einer Badströmung im Spalt durch dessen Enge zwischen zwei Dämmen behindert. Wegen der geringen Ausdehnung
10 des Spaltes sind die Unterschiede der magnetischen Feldstärke im Spalt gering. Dadurch ergeben sich entsprechend geringere die Flüssigkeit antreibende Kräfte. Die Temperatur der Schmelze im Spalt entspricht oben derjenigen des überhitzten Bades und ist unten in der Nähe der
15 Kontaktfläche etwa gleich der Schmelztemperatur. Dieser Unterschied bedeutet einen Unterschied der Dichte der Flüssigkeit, die oben leichter und unten schwerer ist. Diese Schichtung wirkt einer Bewegung (Umwälzung) der Schmelze entgegen.

20 In Fig. 6a bis 6c sind weitere Ausbildungsformen des metallischen Bestandteiles 6' der Schmelzbadkontaktfläche 6', 7' der Bodenelektrode 6 dargestellt. Fig. 6a zeigt eine mäanderförmige 6a, Fig. 4b eine rechteckige 6b und Fig. 6c eine spiralförmige Ausbildung 6c des metallischen
25 Teiles 6' der Schmelzbadkontaktfläche 6', 7', wobei jeweils komplementär dazu die nichtmetallischen, feuerfesten Bestandteile 7' eingefügt sind. Auf diese Weise ist die Bodenelektrode 6 zu einem einheitlichen Ganzen zusammengesetzt. Die Bestandteile 6', 7' der
30 Bodenelektrode 6 können sich über die gesamte axiale Länge der Bodenelektrode 6 erstrecken. Um die elektrische Stromzuführung in die Bodenelektrode 6 in jedem Fall sicherzustellen, ist der metallische Bestandteil 6' der Bodenelektrode 6 im Bereich des elektrischen Anschluss-
30 stückes 9 über deren gesamten Durchmesser vorzugsweise kompakt ausgebildet.

Die geometrische Ausbildung der metallischen 6' bzw. nichtmetallischen Bestandteile 7' bleiben nicht auf die in den vorstehend gezeigten Ausführungsbeispielen beschränkt und es sind beliebig viele geometrische Formen denkbar.

Von Bedeutung ist, dass bei einer gegebenen elektrischen Anschlussleistung des Lichtbogenofens, einmal der Querschnitt der Bodenelektrode(n) 6 möglichst gross gewählt wird, und dass zum anderen die Elektrodenbestandteile 6', 7' in Richtung der elektrischen Feldlinien verlaufen, wobei die Länge der Elektrodenbestandteile 6', 7' im Verhältnis zu deren Breite gross sein soll.

Das Ofengefäss 4, 4'; 5, 5' und gleichfalls der Ofenherd 20 können sowohl rotationssymmetrisch, als auch nichtrotationssymmetrisch ausgebildet sein.

Die trompetenförmigen oder konischen Ausstülpungen der Herdfläche 20, an deren unteren Ende die Bodenelektrode(n) angeordnet sind, können sowohl kontinuierlich ausgebildet sein. So wie in Fig. 1, 2b und 3 dargestellt, sie können aber auch ebenso gut diskontinuierlich, d.h. stufenweise, mit Absätzen versehen, gestaltet sein.

Ebenfalls bleibt die vorliegende Erfindung nicht nur auf zylindrisch ausgebildete Bodenelektroden 6 beschränkt. Es können ebenfalls ellipsenförmige, quadratische, rechteckige oder polygonale Querschnittsformen verwendet werden. Ebenso kann eine oder mehrere Bodenelektroden 6 hohlzylindrisch oder zumindest abschnittsweise hohlzylindrisch ausgebildet sein.

Ausserdem ist es selbstverständlich, dass eine beliebige Anzahl von Bodenelektroden 6 in den Ofengefässboden 4, 4', und zwar an jeden beliebigen Ort im Ofengefässboden 4, 4', eingebaut werden können.

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Elektrischer Ofen, insbesondere Gleichstromlichtbogen-
ofen zum Schmelzen von Metallen mit mindestens einer
Bodenelektrode (6), welche im Ofengefässboden (4, 4')
angeordnet ist, wobei die Herdfläche (20) des Licht-
5 bogenofens von der Bodenelektrode (6) zum Inneren
des Ofengefässes hin, im Bereich der Bodenelektrode
(6) sich sukzessive erweitert, dadurch gekennzeichnet,
dass das Verhältnis vom Querschnitt (A_L) der Herd-
fläche (20) zum Querschnitt (A) der Bodenelektrode
10 (6) in deren Schmelzbadkontaktfläche (6', 7') in
einem Bereich von

$$1,2 \left(\frac{L}{R} \right) \leq \frac{A_L}{A} \leq 10 \left(\frac{L}{R} \right)$$

- gewählt ist, wobei A_L bzw. A in m^2 angegeben sind,
L der axiale Abstand von der Schmelzbadkontaktfläche
(6', 7') in das Ofengefässinnere in m und R der Radius
15 der Bodenelektrode (6) in deren Schmelzbadkontakt-
fläche (6', 7') ist (Fig. 1, 3).

2. Elektrischer Ofen, insbesondere Gleichstromlichtbogen-
ofen zum Schmelzen von Metallen mit mindestens einer
Bodenelektrode (6), welche im Ofengefässboden (4, 4')
20 angeordnet ist, wobei die Herdfläche (20) des Licht-
bogenofens von der Bodenelektrode (6) zum Inneren
des Ofengefässes hin, im Bereich der Bodenelektrode
(6) sich sukzessive erweitert, dadurch gekennzeichnet,
dass die Herdfläche (20) wenigstens annähernd kegel-
25 stumpfförmig ausgebildet ist, und dass die Kegelmantel-
fläche mit der Schmelzbadkontaktfläche (6', 7') der
Bodenelektrode (6) einen Winkel α von mindestens
20° einschliesst (Fig. 2b).

3. Elektrischer Ofen nach Anspruch 1 und/oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Herdfläche (20) im Bereich der Bodenelektrode (6) innerhalb der durch die Exponentialfunktionen bezeichneten Grenzwerte unterschiedliche Krümmungsradien aufweisen, und/oder dass die Herdfläche (20) Konusse mit unterschiedlichen Winkeln aufweisen.
4. Elektrischer Ofen nach Anspruch 1, 2 oder 3 mit einer Bodenelektrode, die wenigstens einen metallischen (6') und einen nichtmetallischen Elektrodenbestandteil (7') aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass beide Elektrodenbestandteile (6', 7') zumindest in dem dem Schmelzbad (13) zugewandten Teil der Bodenelektrode (6) eine Länge (l) im wesentlichen in Richtung des elektromagnetischen Feldes (18) dieser stromdurchflossenen Bodenelektrode (6) aufweisen, die grösser als deren Breite (b) ist (Fig. 20, 4).
5. Elektrischer Ofen nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der metallische Elektrodenbestandteil (6') zumindest abschnittsweise hohlzylindrisch (6'') oder mäanderförmig (6a) oder rechteckig (6b) oder spiralförmig (6c) ausgebildet ist und deren nichtmetallischer Bestandteil (7') komplementär eingefügt ist oder dass der nichtmetallische Elektrodenbestandteil (7') zumindest abschnittsweise hohlzylindrisch (6'') oder mäanderförmig (6a) oder rechteckig (6b) oder spiralförmig (6c) ausgebildet ist und deren metallischer Bestandteil (6') komplementär eingefügt ist, und dass der Anteil der Fläche metallischen Bestandteiles (6') 10 bis 70 %, insbesondere 40 bis 60 % der gesamten Schmelzbadkontaktfläche (6', 7') beträgt (Fig. 6a bis 6c).

6. Elektrischer Ofen nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass innerhalb der hohlzylindrischen (6'') oder mäanderförmigen (6a) oder rechteckigen (6b) oder spiralförmigen Ausbildungen 86c) beider Elektrodenbestandteile (6', 7') ein Zylinder (7) vorgesehen ist, welcher aus einem Metall oder aus einem Nichtmetall besteht (Fig. 4).
7. Elektrischer Ofen nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass jeweils zwei an einen metallischen Elektrodenbestandteil (6') angrenzende nichtmetallische Elektrodenbestandteile (7) durch nichtmetallische Verstrebungen (7'') gegenseitig miteinander verbunden sind, und dass die Verstrebungen (7'') in radialer und in Umfangsrichtung der Bodenelektrode (6) versetzt zueinander angeordnet sind (Fig. 2a, 4).
8. Elektrischer Ofen nach einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis der Dicke des metallischen (6') zum nichtmetallischen Bestandteil (7') der Bodenelektrode (6) in ihrer Schmelzbadkontaktfläche (6', 7') im Bereich von 1:1 bis 1:5, vorzugsweise 1:2, gewählt ist.
9. Elektrischer Ofen nach einem der Ansprüche 4 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der metallische Bestandteil (6') der Bodenelektrode (6) in der Schmelzbadkontaktfläche (6', 7') vorzugsweise dem Schmelzbad (13) ähnliche chemische Gehalte aufweist und deren nichtmetallischer Bestandteil (7) aus einem handelsüblichen feuerfesten Baustoff besteht, der gegenüber dem metallischen Bestandteil (6') eine geringere elektrische Leitfähigkeit und einen höheren Schmelzpunkt aufweist.

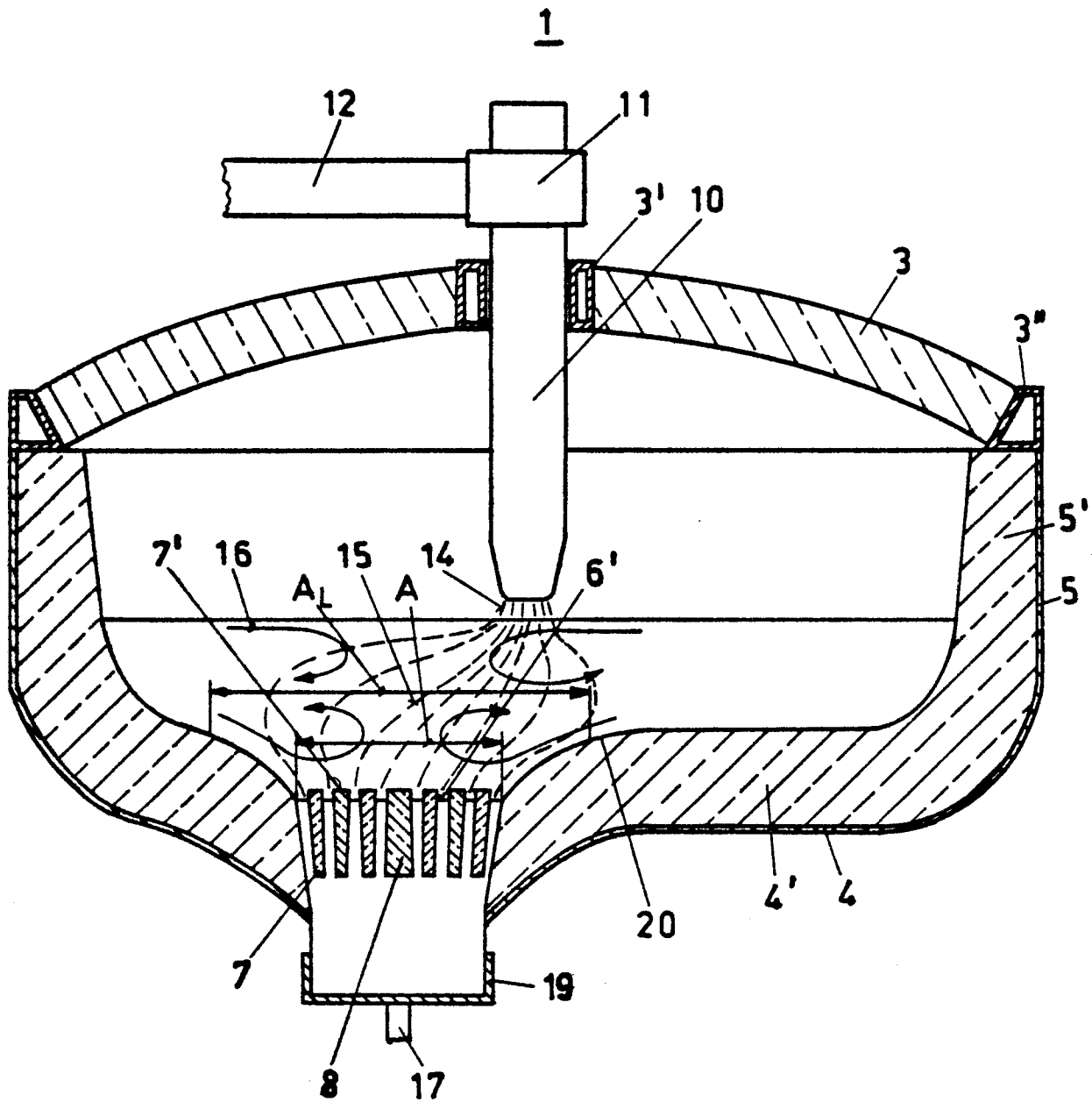


FIG. 1

- 2/5 -

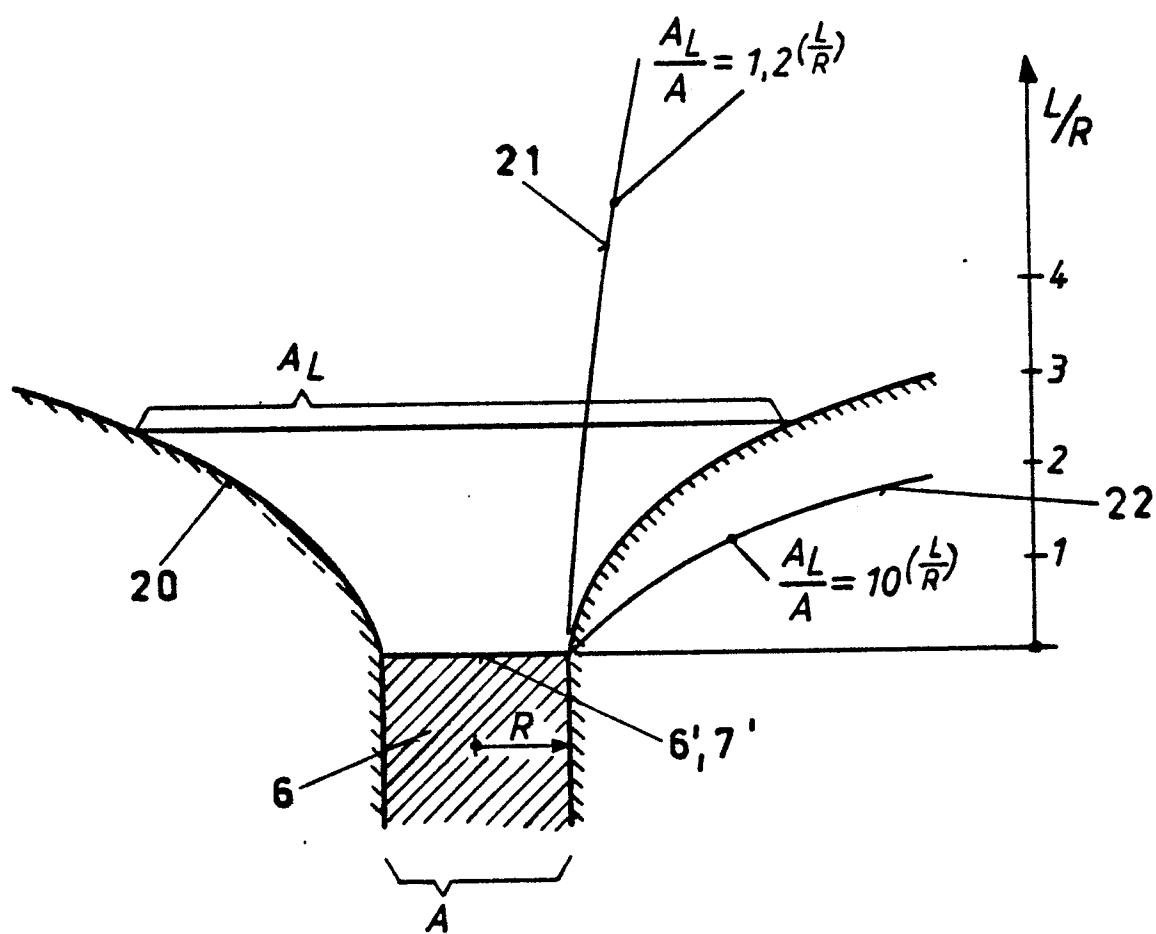


FIG.3

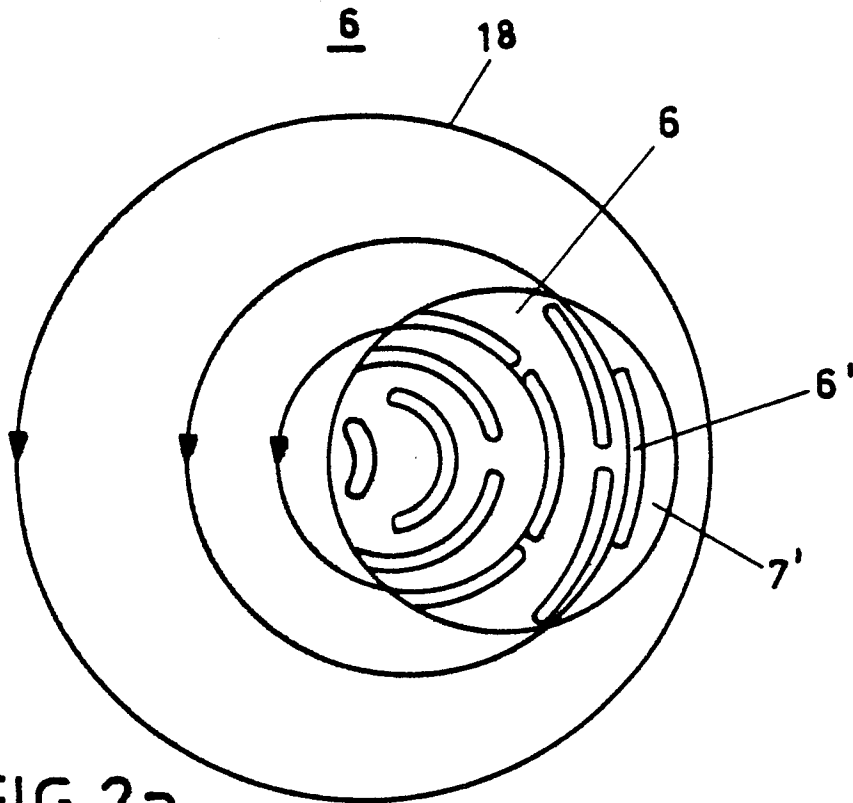


FIG. 2a

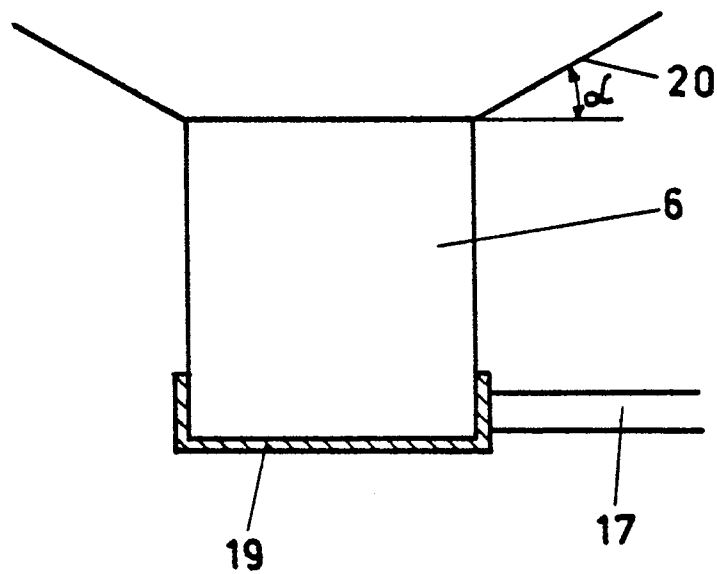


FIG. 2b

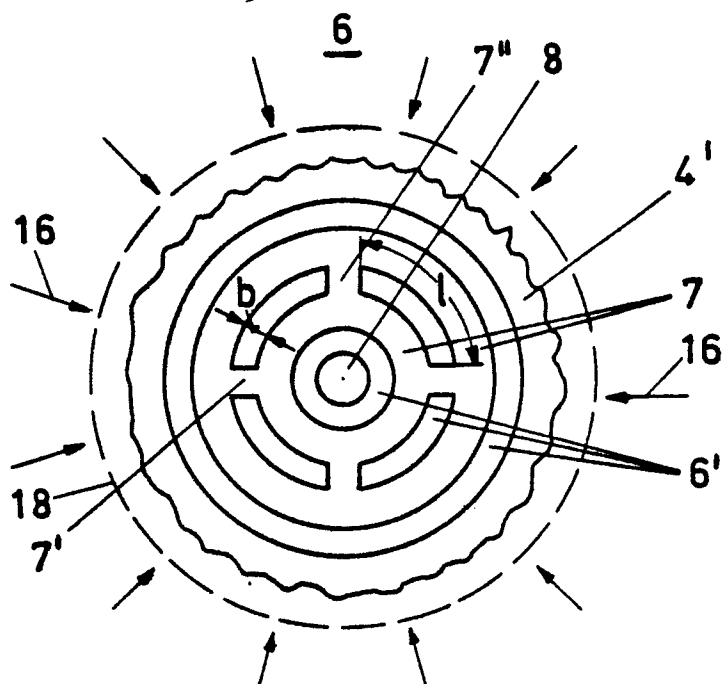


FIG. 4

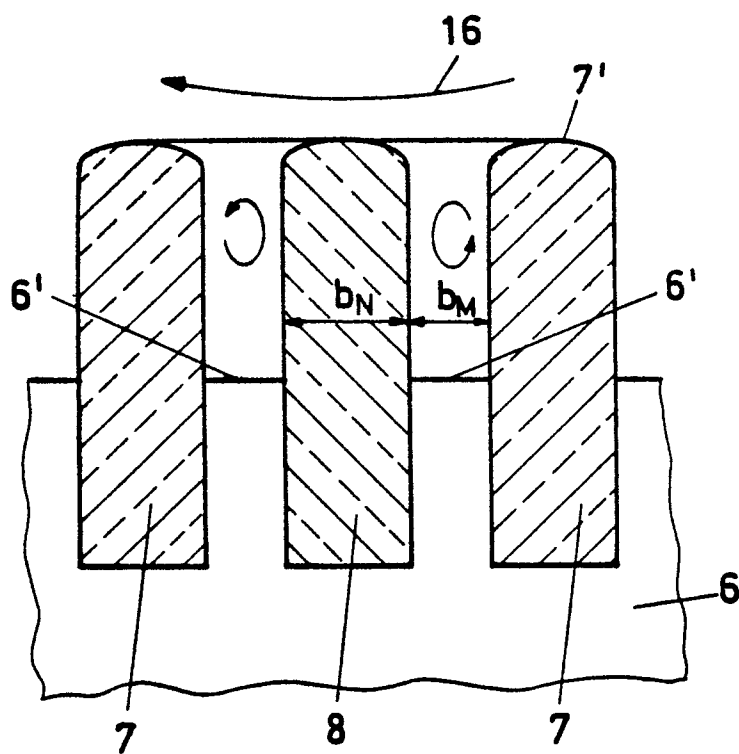


FIG. 5

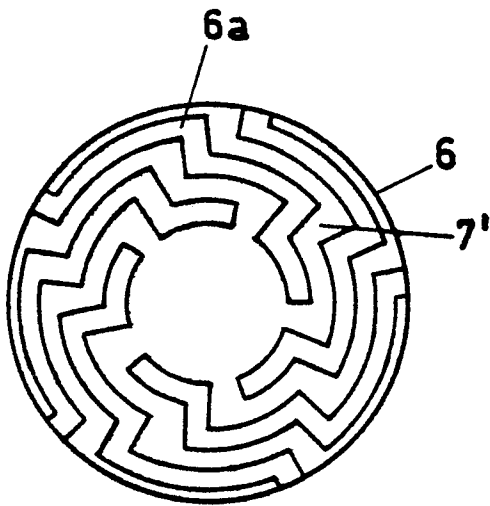


FIG. 6a

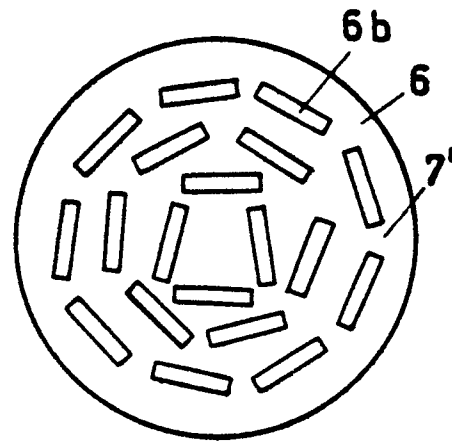


FIG. 6b

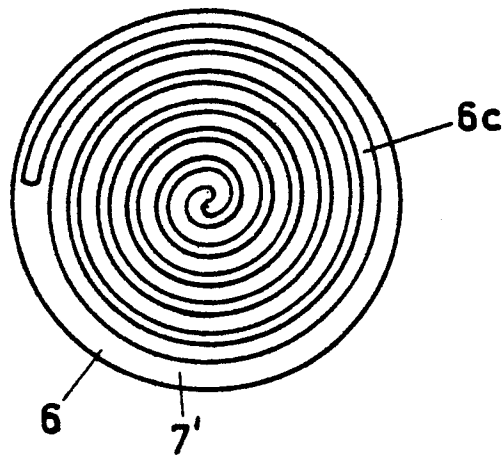


FIG. 6c