

⑫

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

⑰ Anmeldenummer: 84108188.8

⑤① Int. Cl.⁴: **F 27 D 11/10**
H 05 B 7/06

⑱ Anmeldetag: 12.07.84

⑳ Priorität: 28.07.83 CH 4135/83

⑦① Anmelder: **BBC Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie.**
Haselstrasse
CH-5401 Baden(CH)

④③ Veröffentlichungstag der Anmeldung:
13.02.85 Patentblatt 85/7

⑦② Erfinder: **Bühler, Karl**
Oberdorfstrasse 28
CH-5415 Nussbaumen(CH)

⑧④ Benannte Vertragsstaaten:
AT CH DE FR GB IT LI SE

⑤④ Dimensionierung einer Bodenelektrode auf minimale Verlustleistung für einen Gleichstromlichtbogenofen.

⑤⑦ Um die Verlustleistung einer Bodenelektrode (7a, b, c, d) auf Minimalwerte herabzusetzen, ist das Verhältnis von deren mittlerem Querschnitt und Länge derart zu dimensionieren, dass deren Erwärmung durch den Strom allein, bei Kühlung auf deren Aussenseite, an deren Innenseite eine Temperatur ergibt, die der Temperatur des Schmelzbades (13) entspricht. Sowohl für einstückig ausgebildete Bodenelektroden (7a, b, c) als auch für Zweistoff-Bodenelektroden (7d) wurden Faktoren ermittelt, welche eine optimale Dimensionierung der Bodenelektroden (7a, b, c, d), hinsichtlich minimaler Verlustleistung, ermöglichen.

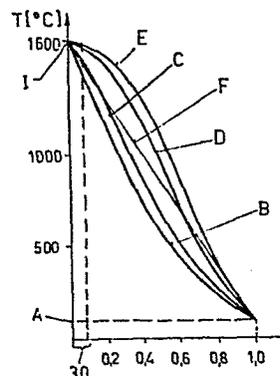


FIG.6

KT/eh 91/83
28.7.83

- 1 -

Dimensionierung einer Bodenelektrode auf minimale
Verlustleistung für einen Gleichstromlichtbogenofen

Die Erfindung bezieht sich auf einen elektrischen Ofen nach dem Gattungsbegriff des Patentanspruchs 1. Ein derartiger Ofen ist beispielsweise aus der CH-PS 452 730 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 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 Werkstoffe mit einem hohen Erweichungs- und Schmelzpunkt, beispielsweise Graphit, eignen. Bei Verwendung von Kohlenstoffelektroden wird aber die Schmelze einerseits aufgekohlt. Dies ist jedoch insbesondere bei der Herstellung von niedrig gekohlten Stählen unerwünscht. Andererseits wird die Kohlenstoffelektrode aufgezehrt, wodurch der Ofenboden geschwächt und die elektrische Leistungsübertragung ungünstig beeinflusst werden kann.

Nach dem Lösungsvorschlag der CH-PS 452 730 werden Bodenelektroden verwendet, deren mit der Schmelze in Verbindung stehende Zone auch dieselben chemischen Gehalte aufweist, wie die Schmelze selbst. Die Kühlung erfolgt dabei an dem dem Ofengefäß abgewandten Endbereich der Bodenelektrode durch Konvektion mit Luft, wobei dieser Endbereich aus einem Metall mit guten wärmeleitenden und stromführenden Eigenschaften, beispielsweise Kupfer, besteht. Es handelt sich hierbei um eine sogenannte Zweistoff-Bodenelektrode.

Mit dieser luftgekühlten Zweistoff-Bodenelektrode vermeidet man einerseits, dass bei einem eventuellen Durchbruch des Ofenherdes flüssiges Metall mit Flüssigkeit einer Kühlanordnung oder stromführenden Bauteilen der Bodenelektrode unterhalb des Ofengefäßbodens in Kontakt treten kann und schaltet so von vornherein die Gefahr unvorhergesehener schwerwiegender Folgen aus. Andererseits muss aber ein relativ schwacher Kühleffekt in Kauf genommen

werden, der den Anforderungen, die an eine Bodenelektrode im Dauerbetrieb des industriellen Einsatzes gestellt werden, keineswegs gewachsen ist, und zwar aus folgenden Gründen:

5 Der Betrieb eines Lichtbogenofens ist im wesentlichen durch fünf Verfahrensabläufe charakterisiert:

- die Chargierphase ohne Strom; tiefe Temperatur
- die Einschmelzphase hoher Strom; hohe Temperatur
- die Frisch- oder
- 10 Feinungsphase kleiner Strom; hohe Temperatur
- die Abstechphase ohne Strom; hohe Temperatur
- die Nebenzeitphasen ohne Strom; mittlere-tiefe Temperatur

Insbesondere die in der Einschmelzphase entstehende Verlustwärme durch den Strom hat einen grösseren Wärme-
15 fluss in der Bodenelektrode und zwar in Richtung Ofengefässboden zur Folge. Zwischen der Chargierphase und Frisch- oder Feinungsphase kann demnach die Intensität des Wärmeangebotes in einem relativ weiten Bereich variieren. D.h. aber auch, dass die in der gekühlten Zone
20 der Bodenelektrode herrschenden Temperaturen ebenfalls in einem relativ weiten Bereich variieren. Der unterschiedliche Wärmefluss in der Bodenelektrode bedeutet bei konstanter Länge der Bodenelektrode eine unterschiedliche Temperaturdifferenz zwischen deren gekühlter und
25 mit der Schmelze in Berührung stehender Zone. Bei grösserem Wärmeangebot ist aber keine höhere Temperaturdifferenz vorhanden, da die Elektrode auf der Innenseite nicht wärmer sein kann als die Schmelztemperatur. Oder anders ausgedrückt, es kann mehr Wärme nur dann transportiert
30 werden, wenn die Bodenelektrode kürzer wird, d.h. abschmilzt.

Wenn nun, wie es bei Luftkühlung in einem weiten Bereich der Fall ist, die Temperatur der Kühlfläche bei grösserem

Wärmeangebot wesentlich höher ist als bei geringerem Wärmeangebot, so kann die grössere Wärmemenge nur bei noch stärker verkürzter Länge der Bodenelektrode geführt werden, d.h. die Bodenelektrode schmilzt noch mehr ab.

5 Daraus folgt, dass sich die Lageänderung der Grenzschicht Flüssig-Fest zwischen Schmelze und Bodenelektrode über eine relativ grosse Länge - in axialer Richtung betrachtet - erstreckt. Diese Lageänderung kann sich einmal in einem "Hineinwachsen" der Bodenelektrode in die Schmelze,

10 oder, wie bereits ausgeführt, in einem Abschmelzvorgang in Richtung Ofengefässboden, äussern.

Dieser vorstehend geschilderte Vorgang beeinträchtigt die Haltbarkeit der Bodenelektrode in erheblichem Mass und führt zu einer frühzeitigen Zerstörung der die Bodenelektrode umgebenden feuerfesten Auskleidung des Ofengefässbodens. Damit die Bodenelektrode unter derart ungünstigen Betriebsbedingungen überhaupt funktionsfähig

15 ist, muss sie entsprechend überdimensioniert werden. Dies wiederum beeinflusst die Verlustleistung in nachteiliger Weise.

20

Darüber hinaus ist Kühlerleistung den betrieblichen Erfordernissen anzupassen. Diese kann einmal erhöht werden, durch eine Ueberdimensionierung eines Luftkühlers. Dies würde jedoch auf die Dauer zu unbefriedigenden

25 Ergebnissen führen.

Andererseits bietet sich eine Flüssigkeitskühlung in hervorragender Weise für die Kühlung einer Bodenelektrode an. Hierbei müssen aber entsprechende Schutzvorkehrungen getroffen werden, damit flüssiges Metall nicht mit Kühlflüssigkeit in Berührung kommt.

30

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen elektrischen Ofen der eingangs genannten Art zu schaffen, dessen Bodenelektrode mit einer minimalen Verlustleistung behaftet ist.

Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt durch die im Patentanspruch 1 gekennzeichnete Erfindung.

Augenfälligstes Merkmal der Erfindung ist, dass das Minimum an Verlustleistung dann vorhanden ist, wenn
5 die Erwärmung durch den Strom allein, bei Kühlung auf der Aussenseite, an der Innenseite eine Temperatur ergibt, die der Temperatur der Schmelze entspricht.

Diese Bedingung gilt jeweils für ein bestimmtes Material und führt bei gegebenem Strom und Schmelztemperatur
10 auf ein ganz bestimmtes Verhältnis von Elektrodenquerschnitt zu Elektrodenlänge. Das heisst z.B., dass bei grösserer Länge der Elektrode auch ein entsprechend grösserer Querschnitt nötig ist, damit man wiederum die gleiche Verlustleistung erhält. Diese minimale Verlustleistung
15 ist im wesentlichen nicht abhängig von der Elektrodenform, unter der Voraussetzung, dass sowohl Strom als auch Wärme in axialer Richtung durch die Elektrode fliessen. Die Verlustleistung ist jedoch materialabhängig, z.B. kann mit einer Zweistoff-Elektrode (Innenseite Eisen, Aussenseite Kupfer) eine um ca. 10 % ... 5 %
20 geringere Verlustleistung erreicht werden wie mit einer im wesentlichen ganz aus Eisen bestehenden Elektrode.

Bei der Weiterbildung des Erfindungsgegenstandes ist das Verhältnis von mittlerem Querschnitt zur Länge der
25 einstückig ausgebildeten Bodenelektrode aus Eisenlegierung gleich $f \cdot I$ derart gewählt, dass $\frac{1}{200} \leq f \leq \frac{1}{350}$ ist, wobei der mittlere Querschnitt in m^2 , die Länge in m angegeben sind, f eine temperatur- und werkstoffabhängige Konstante in $\frac{m}{kA}$ und I der durch die Bodenelektrode
30 (7a, b, c) fliessende Strom in kA sind.

Und es ist das Verhältnis von mittlerem Querschnitt zur Länge der Zweistoff-Bodenelektrode gleich $f \cdot I$ derart gewählt, dass $\frac{1}{800} \leq f \leq \frac{1}{1800}$ ist, wobei der mittlere Querschnitt in m^2 , die Länge in m angegeben sind, f eine

temperatur- und werkstoffabhängige Konstante in $\frac{m}{kA}$ und I der durch die Bodenelektrode fliessende Strom in kA sind.

Die Veränderungen der Lage der Schmelzgrenze Fest/Flüssig
5 (Ende der Elektrode/Beginn der Schmelze) können klein gehalten werden, wenn man dafür sorgt, dass der Temperaturgradient in der Elektrode relativ schnell grösser wird. Dies ist erreichbar dadurch, dass man den Querschnitt der Elektrode in Richtung auf die Schmelze hin
10 konisch abnehmend ausbildet.

Die vorteilhafte Querschnittsverringeringung der Bodenelektrode in Richtung Ofengefässinneres unter dem Gesichtspunkt deren leichten Demontage von Aussen nach Innen wird dadurch erreicht, dass mindestens ein die Bodenelektrode zu einer Einheit ergänzender Formkörper vorgesehen ist, der aus einem feuerfesten Werkstoff besteht und eine im Vergleich zur Bodenelektrode geringere elektrische und thermische Leifähigkeit aufweist, wobei der Formkörper in seiner Formgebung zumindest in einem
15 Teilbereich an die geometrische Ausgestaltung der Bodenelektrode angepasst ist, und dass der Formkörper in Richtung des Ofengefässinneren einen zunehmenden Querschnitt aufweist.
20

Dabei kann der Formkörper die Bodenelektrode einmal
25 hülsenartig umschliessen, oder der Formkörper in einer trichterförmigen Ausnehmung innerhalb der Bodenelektrode angeordnet sein, wobei sich die Ausnehmung von der dem Gefässinneren zugewandten Stirnfläche der Bodenelektrode in axialer Richtung annähernd bis zum Bereich des Ofengefässbodens erstreckt.
30

Im letzteren Fall ist eine leichte Demontage der Bodenelektrode allerdings nur dann gewährleistet, wenn der Durchmesser der Bodenelektrode sich in Richtung des Ofengefässinneren erweitert.

Zur sicheren Halterung und Kühlung der Bodenelektrode ist vorgesehen, dass sie durch eine unterhalb des Ofengefässbodens sich befindende Bodenelektrodenhalterung gehalten ist, welche aus einem Kühlkanäle aufweisenden Anschlussstück und einem Befestigungsteil besteht. Selbstverständlich kann die Bodenelektrode auch direkt gekühlt, vorzugsweise flüssigkeitsgekühlt sein.

Die Erfindung wird nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen in der Zeichnung näher erläutert. Es zeigt:

- 10 Fig. 1 einen Vertikalschnitt durch den elektrischen Ofen mit der erfindungsgemässen Bodenelektrode,
- Fig. 2 einen Vertikalschnitt durch die erfindungsgemässe Bodenelektrode in einem ersten Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 1, jedoch in vergrösserter Darstellung,
- 15 Fig. 3 einen Vertikalschnitt durch die erfindungsgemässe Bodenelektrode in einem weiteren Ausführungsbeispiel,
- Fig. 4 einen Vertikalschnitt durch die erfindungsgemässe Bodenelektrode in einem weiteren Ausführungsbeispiel,
- 20 Fig. 5 einen Vertikalschnitt durch die erfindungsgemässe Zweistoff-Bodenelektrode,
- Fig. 6 Schaubild des Temperaturprofils einer einstückig ausgebildeten Bodenelektrode aus Eisenlegierung mit verschiedenen geometrischen Ausbildungsformen, und
- 25 Fig. 7 Schaubild des Temperaturprofils einer Zweistoff-Bodenelektrode.

Fig. 1 zeigt den Lichtbogenofen 1 mit Ofengefäss 2 und Ofendeckel 3, wobei das Ofengefäss 2 aus dem Gefässboden 4, der Gefässwand 5, der feuerfesten Auskleidung des Ofenbodens 4', sowie der feuerfesten Auskleidung der Gefässwand 5' besteht. Oberhalb des Schmelzbades 13 ist eine Kohlenstoffelektrode 8 angeordnet, welche durch eine Oeffnung des Ofendeckels 3 hindurchragt. Zur Kühlung der Elektrode 8 ist ein Kühlring 3' angeordnet. Die Elektrode 8 ist in einer Halterung 9 eines Elektrodentrages 10 gehalten. Der Elektrodentragearm 11 ist wiederum mit einer in Fig. 1 nicht dargestellten Elektrodenreguliereinrichtung verbunden.

In dem Ofengefäss 5, 5' befindet sich eine Ofentür 6 und zwischen der Elektrode 8 und dem Schmelzbad 13 ist ein Lichtbogen 14 ausgebildet.

Im Gefässboden 4, 4' ist die erfindungsgemässe Bodenelektrode 7a zu sehen, welche von dem sie ergänzenden Teil 10 aus feuerfestem Werkstoff hülsenartig umschlossen ist. In der beispielsweise Ausführungsform gemäss Fig. 1 weist die Bodenelektrode 7a eine konische, sich in Richtung des Gefässinneren verjüngende Form auf, welche sich vom Ofengefässboden 4 bis zur Ofenherdfläche 16 erstreckt. Im Gegensatz zur sich verjüngenden Gestalt der Bodenelektrode 7a, erweitert sich der sie ergänzende Teil 10 in Richtung des Gefässinneren hin. Die Bodenelektrode 7a wird unterhalb des Ofengefässbodens 4 durch ein wassergekühltes, als Kontakthülse ausgebildetes Anschlussstück 17 gehalten, welches gleichzeitig zur Verbindung der elektrischen Stromzuführung dient. Die Bodenelektrode 7a ist mittels einer Schraubverbindung 23 an der Stirnfläche des Anschlussstückes 17 befestigt. Die Bodenelektrode 7a liegt mit ihren konisch ausgebildeten Kontaktflächen an den ebenfalls konischen, zum Ofenboden 3 hin sich erweiternden inneren Kontaktflächen der Kontakthülse an, wodurch eine gute elektrische Verbindung und Wärmeleitung zwischen beiden Teilen 7a und 17 hergestellt

wird. An dem Anschlussstück 17 sind Kontaktflaschen 20 angeordnet, die einstückig mit der Kontakthülse ausgebildet sind.

In Fig. 1 ist ein Teil des elektrischen Stromzuführungskabels 22 zu sehen, das mittels Schraubverbindung 21 mit den Kontaktflaschen 20 verbunden ist. Das Anschlussstück 17 ist mit Kühlkanälen 19 sowie mit einem Kühlkanaleintrittsstutzen 18 versehen. Eine Kühlflüssigkeit, vornehmlich Wasser, wird durch den Eintrittsstutzen 18 den Kühlkanälen 19 zugeführt. Es durchströmt die Kühlkanäle 19 des Anschlussstückes 17 in spiralförmiger Anordnung aufwärts und kühlt somit die Bodenelektrode 7a auf indirekte Weise. Der Kühlflüssigkeitsaustrittsstutzen des Anschlussstückes 17 befindet sich auf der gleichen Ebene wie der Eintrittsstutzen 18 und ist deshalb in Fig. 1 nicht zu sehen.

Die Halterung der Bodenelektrode 7a geschieht mittels eines Befestigungsteiles, welche aus einem metallischen kegelstumpffartigen Abschirmdach 24 und vertikalen Halte-traversen 24' besteht, wobei das Abschirmdach 24 in bezug auf die Ofenachse mindestens im wesentlichen zentral und nach unten offen angeordnet und mittels der Halte-traversen 24' mit dem Ofengefäßboden 4 fest verbunden ist. Die Bodenelektrode 7a ragt durch die Oeffnung des Abschirmdaches hindurch und stützt sich auf der Kontakthülse ab, wobei das Anschlussstück 17 unter Einfügung einer elektrisch isolierenden Zwischenschicht 27 an der Unterseite des Abschirmdaches 24 befestigt ist.

Bei einer allfälligen Demontage der Bodenelektrode wird nur die Verschraubung 23 gelöst. An die, dem Gefässinneren abgewandten Stirnfläche der Bodenelektrode 7a wird beispielsweise ein in Fig. 1 nicht dargestellter Bolzen einer Auspressvorrichtung durch den Durchbruch 28 in der Stirnfläche 28 des Anschlussstückes 17 auf die Stirnfläche der Bodenelektrode 7a aufgesetzt und auf die

Bodenelektrode 7a, mitsamt dem sie ergänzenden Teil 10 eine für den Ausstossvorgang erforderliche Kraft aufgebracht. Auf diese Weise kann die Bodenelektrode mitsamt dem sie umhüllenden Teil 10 leicht von aussen in das Ofengefässinnere hinein entfernt werden. Da im Gegensatz zu der, der Schmelze zugewandten Stirnfläche der Bodenelektrode die Stirnfläche auf der der Auspressstempel anliegt, genau definiert ist, so kann die Auspressung der Bodenelektrode aus dem Ofengefässboden 4, 4' in jedem Fall gut reproduzierbar wiederholt werden.

Fig. 2 zeigt einen Vertikalschnitt durch die erfindungsgemässe Bodenelektrode in einem ersten Ausführungsbeispiel, gemäss Fig. 1, jedoch in vergrösserter Darstellung. Die Bodenelektrode 7a mit dem Durchmesser d_1 im Bereich des Ofengefässbodens 4 verjüngt sich konisch bis zur Herdfläche 16 hin und weist dort einen Durchmesser d_3 auf. Der die Bodenelektrode 7a ergänzende Teil 10 hingegen, welcher im Bereich des Ofenbodens 3 annähernd ebenfalls einen Durchmesser d_1 aufweist, erweitert sich und hat in der Herdfläche den Durchmesser d_4 . Durch die strichlierte Linie 10' ist angedeutet, dass der Teil 10 ebenfalls zylindrisch ausgebildet sein könnte, ohne dass der Auspressvorgang der Bodenelektrode aus dem Ofenboden 5 dadurch wesentlich erschwert würde. Der mittlere Durchmesser der Bodenelektrode 7a ist mit d_2 bezeichnet und die Gesamtlänge der Bodenelektrode 7a mit L .

Fig. 3 zeigt einen Vertikalschnitt durch eine weitere erfindungsgemässe Bodenelektrode 7b. Die Bodenelektrode 7b weist eine zylindrische Gestalt auf und ist gleichfalls mit dem ergänzenden Teil 10 umhüllt, der sich wiederum in Richtung des Gefässinneren hin, erweitert. Auf diese Weise wird die Auspressung der Bodenelektrode 7b aus dem Ofengefässboden wiederum wesentlich erleichtert. Die Bodenelektrode 7b weist - durch die strichlierte

Linie ersichtlich - einen Formkörper 15 aus einem feuerfesten Werkstoff auf, welcher in einer trichterförmigen Ausnehmung innerhalb der Bodenelektrode 7b angeordnet ist, wobei sich die Ausnehmung von der dem Gefässinneren zugewandten Stirnfläche der Bodenelektrode 7b in axialer Richtung sich bis zum Bereich des Ofengefässbodens 4 erstreckt. Der Formkörper 15 dient zum Zweck der Querschnittsverringeringung der Bodenelektrode 7b in Richtung Ofengefässinneres, wobei das Verhältnis des Querschnittes der Bodenelektrode 7a, b, c, d im Ofengefässboden 4 zum Querschnitt in der Ofenherdfläche 16 mindestens 1,4 : 1, vorzugsweise 2 : 1 gewählt wurde. Dadurch kann die Grenzschrift Flüssig/Fest zwischen Schmelzbad 13 und Stirnfläche der Bodenelektrode 7a, b, c, d in der Ofenherdfläche sehr lagestabil gehalten und die Lebensdauer der Bodenelektrode 7a, b, c, d und die feuerfeste Auskleidung 4' des Ofengefässbodens im elektrodennahen Bereich wesentlich erhöht werden. Wird der Querschnitt und die Länge der Bodenelektrode 7a, b, c, d dem sie durchfliessenden Strom unter zusätzlicher Berücksichtigung eines Faktors angepasst, so kann gleichzeitig die Verlustleistung der Bodenelektrode 7a, b, c, d auf ein Minimum reduziert werden.

Der mittlere Querschnitt ergibt sich dabei aus dem arithmetischen Mittelwert des Querschnittes der Bodenelektrode 7a, b, c, d im Bereich des Ofengefässbodens 4 und des Querschnittes in der Ofenherdfläche 16.

Im Ofengefässboden 4 weist die Elektrode 7b einen Durchmesser von d_1 auf, der sich durch den Formkörper 15 in der Ofenherdfläche 16 bis zur radialen Ringbreite d_5 verringert. Die Elektrode 7b hat mitsamt den sie ergänzenden Teil 10 in der Ofenherdfläche 16 einen Durchmesser d_7 . Der mittlere Durchmesser ist mit d_6 bezeichnet und die Länge wiederum mit l .

Fig. 4 zeigt die Bodenelektrode 7c, deren äusserer Durchmesser sich in Richtung Gefässinneres erweitert oder höchstens, durch die strichlierten Linien 7c' angedeutet, gleichbleibt. Die Bodenelektrode 7c weist kein sie ergänzen-

5 des Teil auf, weil die Auspressung nach dem Gefässinneren hin auch ohne dieses gewährleistet ist. Jedoch ist die Bodenelektrode 7c mit einem trichterförmigen Formkörper 15 versehen, welcher, wie bereits in der Beschreibung von Fig. 3 ausgeführt, der Stabilisierung der Grenz-

10 schicht Flüssig/Fest zwischen dem Schmelzbad 13 und der Stirnfläche der Bodenelektrode 7a, b, c, d sowie der Begrenzung der Verlustleistung dient. Die Bodenelektrode 7c hat im Ofengefässboden 4 einen Durchmesser d_1 , in der Ofenherdfläche 16 einen äusseren Durchmesser

15 d_8 , jedoch in der Ofenherdfläche 16 nur eine metallisch wirksame Ringbreite d_{10} . Der mittlere Durchmesser ist mit d_9 bezeichnet, die Länge wiederum mit l .

In Fig. 5 ist eine Zweistoff-Bodenelektrode 7d dargestellt, welche aus einem der Ofenherdfläche 16 zugewandten Eisen-

20 legierungsteil 31 und dem Kupferteil 32 besteht. Beide Teile 31, 32 sind metallurgisch miteinander verbunden, wobei die Auspressung der Elektrode 7b von aussen in Richtung des Gefässinneren ohne weiteres gewährleistet ist.

25 In Fig. 5 ist die Querschnittsverringering der Bodenelektrode 7d in Richtung des Ofengefässinneren nicht dargestellt. Es versteht sich von selbst, dass ein entsprechender Formkörper 15, entsprechend Fig. 3 und 4 ebenfalls in die Bodenelektrode 7d eingesetzt werden kann.

30 Im Schaubild gemäss Fig. 6 sind die Temperaturprofile der einzelnen geometrischen Ausbildungsformen der Bodenelektrode 7a, b, c, und zwar in qualitativer Darstellungsweise über deren Länge, veranschaulicht.

Mit l ist dabei die Länge des metallischen Teils der

35 Bodenelektrode bezeichnet, mit A die Temperatur der

Bodenelektrode im Bereich des Bodens 4 des Ofengefässes und mit I die Temperatur in der Herdfläche 16.

Die in Fig. 2 bis 4 dargestellten Ausführungsbeispiele der Bodenelektrode 7a, b, c weisen dabei folgende Temperaturprofile auf:

	Temperaturprofil
Bodenelektrode 7b gemäss Fig. 3, jedoch zylindrisch ohne Formkörper 15 bei Stromfluss	E
10 Bodenelektrode 7a gemäss Fig. 3, jedoch zylindrisch ohne Formkörper 15 und ohne Stromfluss	C
Bodenelektrode 7a, gemäss Fig. 2 und Bodenelektroden 7b und 7c gemäss Fig. 3 und 4 mit Formkörper 15 mit Stromfluss	D
Bodenelektrode 7a, gemäss Fig. 2 und Bodenelektrode 7b und 7c gemäss Fig. 3 und 4 mit Formkörper 15 ohne Stromfluss	B

20 Die vorstehend aufgeführten Temperaturprofile zeigen folgendes:

Die zylindrische Ausbildungsform der Bodenelektrode 7b gemäss Fig. 3, jedoch ohne Formkörper 15 weist bei Stromfluss - Temperaturprofil E - über die Länge 30 im schmelzennahen Bereich der Bodenelektrode 7b einen sehr geringen Temperaturgradienten auf. Das bedeutet, dass die Grenzschrift Flüssig/Fest zwischen Schmelzbad 13 und Stirnfläche der Bodenelektrode 7b seine Lage während des Ofenbetriebes über den Abschnitt 30 in die Bodenelektrode 7b hinein verlagert, d.h., die Bodenelektrode 7b schmilzt ab und damit steigt auch die Verlustleistung an.

Ohne Stromfluss - Temperaturprofil C - steigt für dieselbe Bodenelektrode 7b (Zylindrische Ausbildungsform gemäss Fig.3, jedoch ohne Formkörper 15) der Temperaturgradient über den Abschnitt 30 im ofenherdnahen Bereich wieder an und die Grenzschicht Flüssig/Fest zwischen Schmelzbad 13 und Stirnfläche der Bodenelektrode 7b bildet sich in Richtung Ofenherdfläche zurück.

Betrachtet man nun die Bodenelektrode 7a, gemäss Fig. 2 und Bodenelektroden 7b und 7c gemäss Fig. 3 und 4, deren Querschnitt sich in Richtung Ofenherdfläche 16, ausgehend vom Ofengefässboden 4 verjüngt, so ergibt sich folgendes Bild:

Mit Stromfluss

Temperaturprofil D: Der Temperaturgradient in dem Abschnitt 30 im ofenherdnahen Bereich steigt gegenüber der Elektrode 7b mit zylindrischer Querschnittsform an, d.h. der Abschmelzvorgang im Abschnitt 30 wird weitgehend zurückgedrängt. Die Temperatur der Bodenelektroden 7a, b, c - Temperaturprofil D - nähert sich dem Temperaturprofil F, d.h., der Temperatur des die Bodenelektrode 7a, b ergänzenden und hülsenartig sie umgebenden Teils 10, 10' aus feuerfestem Werkstoff, bzw. der feuerfesten Auskleidung 4' des Ofengefässbodens 4. Für einen elektrischen Ofen, der im industriellen Dauerbetrieb eingesetzt ist, ist dies von ausschlaggebender Bedeutung.

Ohne Stromfluss

5 Temperaturprofil B: Der Temperaturgradient im Abschnitt 30 verläuft sehr steil, die Grenzschicht Flüssig/Fest zwischen Schmelzbad 13 und Stirnfläche der Bodenelektroden 7a, b, c verbleibt stabil in der Ofenherdfläche 16.

10 Generell ist festzuhalten, dass mit Bodenelektroden 7a, b, c, deren Querschnitt in der Ofenherdfläche 16 sich gegenüber dem Ofengefässboden 4 verjüngt, und zwar entsprechend dem erfindungsgemässen Dimensionierungsverhältnis, einmal der Temperaturgradient im herdflächen-

15 nahen Abschnitt 30 der Bodenelektroden 7a, b, c erhöht werden kann. Damit wird erreicht, dass die Lage der Grenzschicht Flüssig/Fest zwischen Schmelzbad 13 und Stirnfläche der Bodenelektroden 7a, b, c weitgehend in der Ofenherdfläche 16 lokalisiert werden kann. Die Bodenelektrode 7a, b, c wird nicht abgeschmolzen und deren Lebensdauer wird wesentlich erhöht. Ausserdem

20 wird durch diese Massnahme erreicht, dass die Bodenelektrode 7a, b, c besser auf minimale Verlustleistung dimensioniert werden kann.

Ausserdem liegen die Temperaturschwankungen der Bodenelektroden 7a, b, c, welche sich aus den Zuständen mit

25 und ohne Stromfluss ergeben, näher an der Temperatur, der die Bodenelektroden 7a, b, c umgebenden feuerfesten Auskleidung des Ofengefässbodens 4.

Dadurch werden thermische Spannungen in der feuerfesten Auskleidung weitgehend reduziert und somit der Gefahr

30 deren vorzeitiger Zerstörung vorgebeugt.

Fig. 7 zeigt schliesslich das Temperaturprofil einer Zweistoff-Bodenelektrode gemäss Fig. 5, jedoch mit einem nach innen sich leicht verringernden Querschnitt. I

35 gibt wiederum die Temperatur der Bodenelektrode 7d in der Ofenherdfläche 16 an, und A die Temperatur im gekühlten Abschnitt. Diese Verringerung des Querschnitts

wird erreicht, durch Anbringung eines Formkörpers 15 innerhalb der Bodenelektrode 7d. Dieser Formkörper 15 wurde in Fig. 5 nicht dargestellt.

5 G_1 zeigt das Temperaturprofil des Teils aus Eisenlegierung, G_2 dasjenige des Teils aus Kupfer. H gibt die Temperatur der feuerfesten Auskleidung 4' des Ofengefässbodens 4 wieder. Das Temperaturprofil G_1 und G_2 ist dem Temperaturprofil H angenähert. Hierbei zeigt sich die Wirkung der thermisch schlecht leitenden Eisenlegierung, trotz
10 relativ grossem Querschnitts.

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 (7a, b, c), welche auf ihrer dem Ofen-
gefässinneren abgewandten Seite gekühlt ist, dadurch
5 gekennzeichnet, dass das Verhältnis von mittlerem
Querschnitt zur Länge der Bodenelektrode (7a, b,
c) so gewählt ist, dass die Erwärmung der Bodenelek-
trode (7a, b, c) durch den Strom allein, bei Kühlung
an der dem Ofengefässinneren abgewandten Seite, an
10 der der Ofenherdfläche (16) zugewandten Stirnfläche
der Bodenelektrode (7a, b, c) eine Temperatur ergibt,
die der Temperatur des Schmelzbades (13) entspricht.

2. Elektrischer Ofen nach Anspruch 1, dadurch g e kenn-
zeichnet, dass die Bodenelektrode (7a, b, c) einstückig
15 ausgebildet, und vorzugsweise dem Schmelzbad (13)
ähnliche chemische Gehalte aufweist.

3. Elektrischer Ofen, nach Anspruch 1, dadurch gekenn-
zeichnet, dass die Bodenelektrode (7d) mindestens
aus zwei Werkstoffen besteht, dass der dem Schmelz-
20 bad (13) zugewandte Teil (31) aus einer dem Schmelz-
bad (13) ähnlich chemische Gehalte aufweisenden Le-
gierung und der zweite Teil (32) aus Kupfer besteht,
und dass der dem Schmelzbad (13) zugewandte Teil
(31) der Bodenelektrode (7d) $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{2}$ der Gesamtlänge
25 der Bodenelektrode (7d) beträgt.

4. Elektrischer Ofen nach Ansprüchen 1 und 2 für Eisen-
legierungsschmelzen von 1400 bis 1700 °C und einer
Flüssigkeitskühlung, dadurch gekennzeichnet, dass
das Verhältnis von mittlerem Querschnitt zur Länge
30 der Bodenelektrode (7a, b, c) gleich $f \cdot I$ derart

derart gewählt ist, dass $\frac{1}{200} < f < \frac{1}{350}$ ist, wobei der mittlere Querschnitt in m^2 , die Länge in m angegeben sind, f eine temperatur- und werkstoffabhängige Konstante in $\frac{m}{kA}$ und I der durch die Bodenelektrode (7a, b, c) fließende Strom in kA sind.

- 5
5. Elektrischer Ofen nach Ansprüchen 1 und 3 für Eisenlegierungsschmelzen von 1400 bis 1700 °C und einer Flüssigkeitskühlung, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis von mittlerem Querschnitt zur Länge der Bodenelektrode (7d) gleich $f \cdot I$ derart gewählt ist, dass $\frac{1}{800} < f < \frac{1}{1800}$ ist, wobei der mittlere Querschnitt in m^2 , die Länge in m angegeben sind, f eine temperatur- und werkstoffabhängige Konstante in $\frac{m}{kA}$ und I der durch die Bodenelektrode (7d) fließende Strom in kA sind.
- 10
- 15
6. Elektrischer Ofen nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis des Querschnittes der Bodenelektrode (7a, b, c, d) im Ofengefäßboden (4) zum Querschnitt in der Ofenherdfläche (16) mindestens 1,4 : 1, vorzugsweise 2 : 1 gewählt ist.
- 20
7. Elektrischer Ofen nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein die Bodenelektrode (7a, b, c, d) zu einer Einheit ergänzender Formkörper (10, 10', 15) vorgesehen ist, der aus einem feuerfesten Werkstoff besteht und eine im Vergleich zur Bodenelektrode (7a, b, c, d) geringere elektrische und thermische Leitfähigkeit aufweist, dass der Formkörper (10, 10', 15) in seiner Formgebung zumindest in einem Teilbereich an die geometrische Ausgestaltung der Bodenelektrode (7a, b, c, d) angepasst ist, und dass der Formkörper (10, 10', 15) in Richtung des Ofengefäßinneren einen zunehmenden Querschnitt aufweist.
- 25
- 30

8. Elektrischer Ofen nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Formkörper (10, 10') die Bodenelektrode (7a, b) hülsenartig umschliesst.
- 5 9. Elektrischer Ofen nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Formkörper (15) in einer trichterförmigen Ausnehmung innerhalb der Bodenelektrode (7a, b, c, d) angeordnet ist, welche Ausnehmung sich von der dem Gefässinneren zugewandten Stirnfläche der Bodenelektrode (7a, b, c, d) in axialer Richtung sich annähernd
10 bis zum Bereich des Ofengefässbodens (4) erstreckt.
10. Elektrischer Ofen nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Bodenelektrode (7a, b, c, d) durch eine unterhalb des Ofengefässbodens (4) sich befindende Bodenelektrodenhalterung gehalten ist, welche aus
15 einem gegen die Elektrode (7a, b, c, d) hin verschlossene Kühlkanäle (19) aufweisenden Anschlussstück (17) und einem Befestigungsteil (24, 24') besteht.

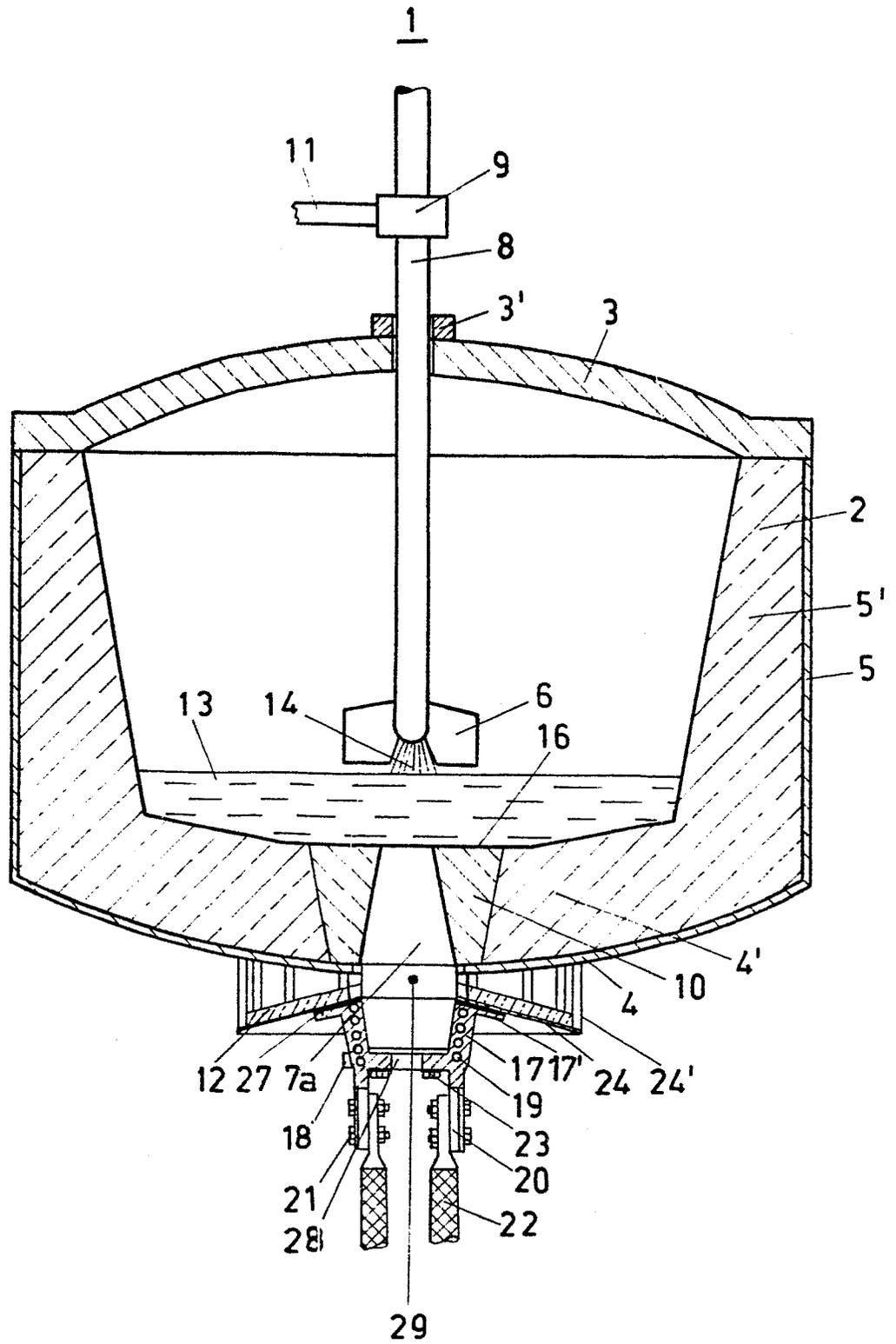


FIG.1

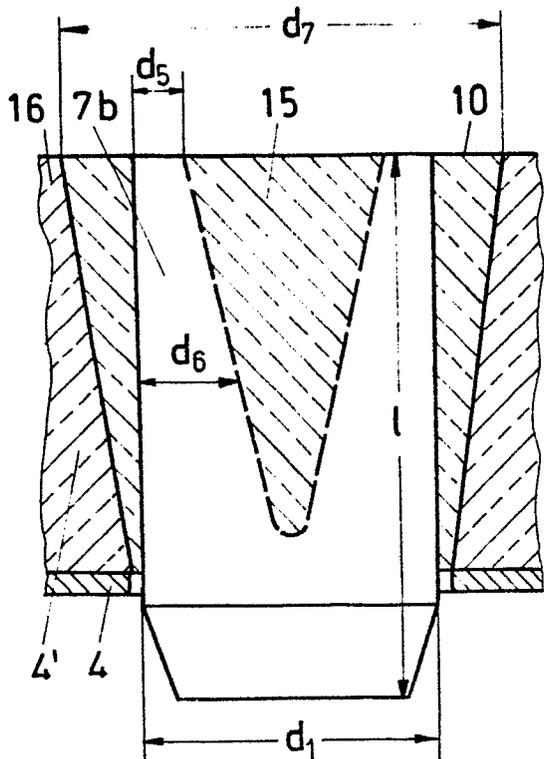


FIG. 3

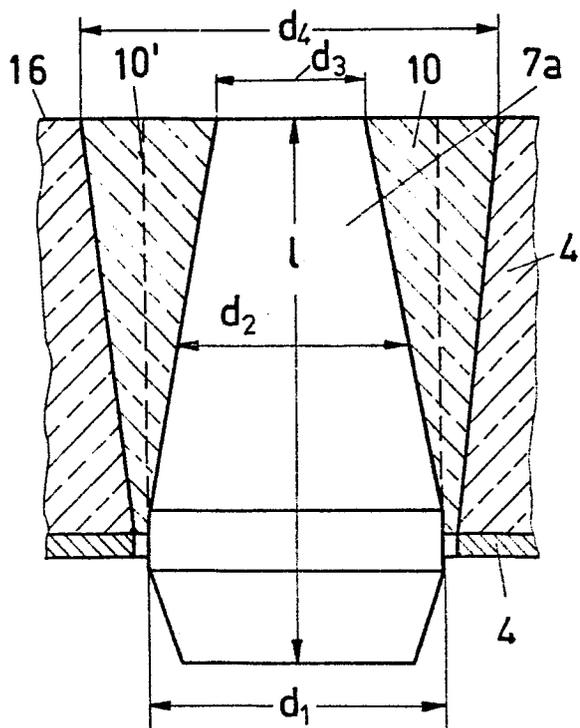


FIG. 2

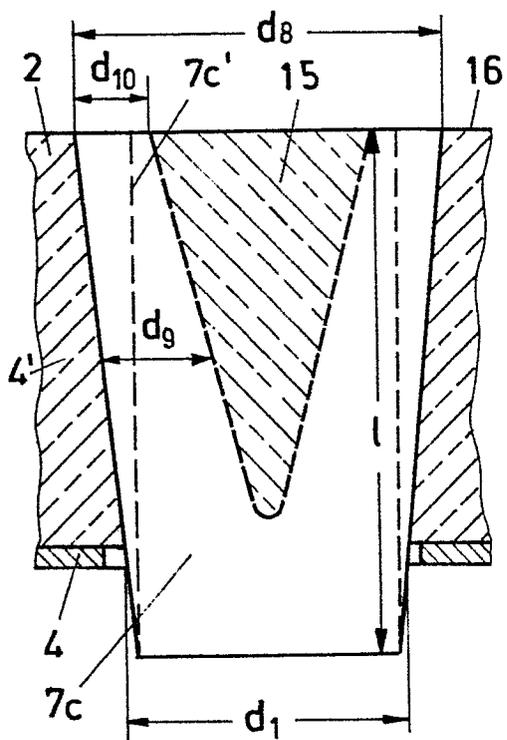


FIG. 4

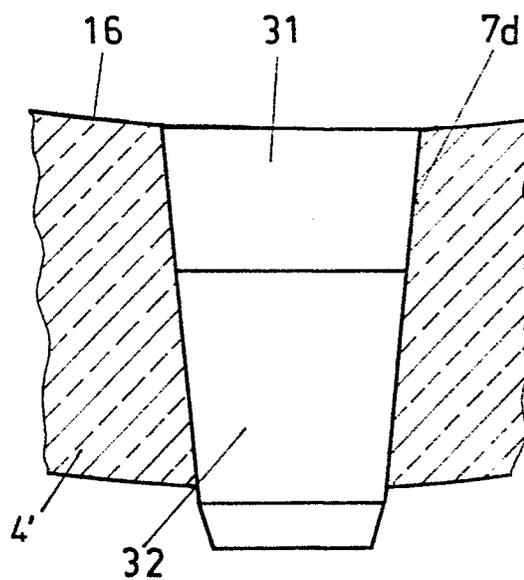


FIG. 5

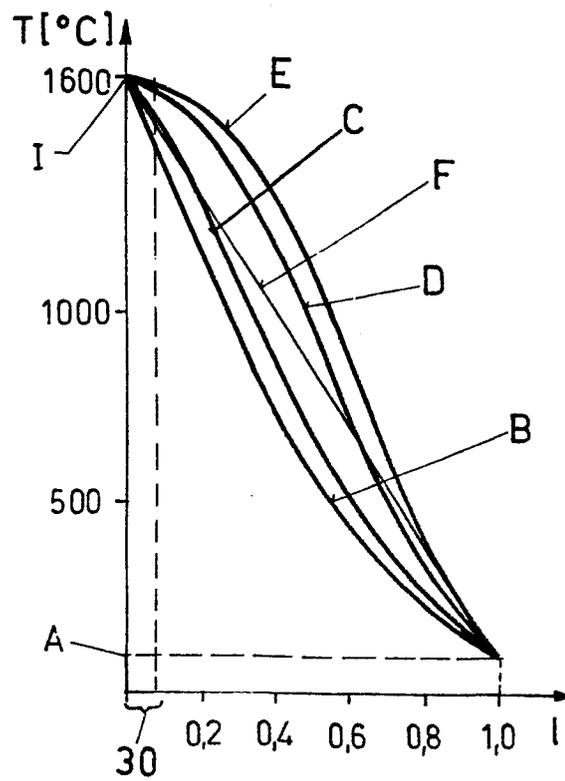


FIG.6

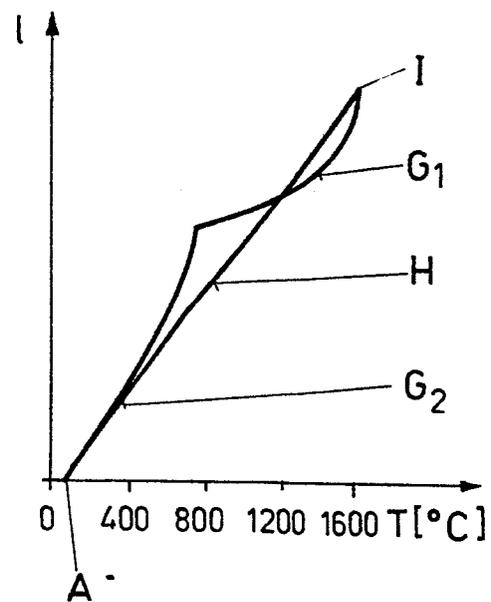


FIG.7