

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[ 51 ] Int. Cl<sup>7</sup>

F27D 23/04

H05B 6/22



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 02810213.4

[43] 公开日 2004 年 6 月 30 日

[11] 公开号 CN 1509402A

[22] 申请日 2002.5.21 [21] 申请号 02810213.4

[30] 优先权

[32] 2001. 5. 22 [33] US [31] 60/292,679

[86] 国际申请 PCT/US2002/016137 2002.5.21

[87] 国际公布 WO2002/095921 英 2002.11.28

[85] 进入国家阶段日期 2003.11.19

[71] 申请人 应达公司

地址 美国新泽西州

[72] 发明人 奥列格·S·菲什曼

维塔利·A·佩萨霍维奇

[74] 专利代理机构 北京金信联合知识产权代理有限公司

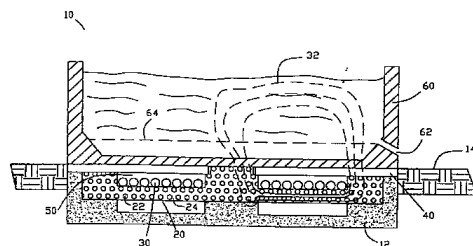
代理人 张金海

权利要求书 3 页 说明书 9 页 附图 8 页

[54] 发明名称 带有底部感应线圈的熔炉

[57] 摘要

一种感应熔炉(10)，具有用于对装在该熔炉(10)中的导电材料进行融化、加热和/或搅拌的底部感应线圈(30)。该熔炉(10)对于导热率相对较低的导电材料尤其有用，所述材料例如为铝或铝合金。



I S S N 1 0 0 8 - 4 2 7 4

1. 一种对导电材料进行加热的感应熔炉，包括：  
容装所述导电材料的坩埚；  
5 用于支承坩埚底部的底部支承构件；  
位于所述底部支承构件之下的磁通集中器；以及  
至少一个感应线圈，位于所述底部支承构件和所述磁通集中器之间，其中流过所述至少一个感应线圈的交流电流产生的磁场穿过所述导电材料在所述导电材料中诱导产生涡流，所述涡流对所述导电材料进行加热。
- 10 2. 根据权利要求1所述的感应熔炉，其中，所述磁通集中器包括一些分布在一种非导电材料中的离散铁磁性部件。
3. 根据权利要求1所述的感应熔炉，其中，所述坩埚具有一圆形底部，所述磁通集中器包括中心内环元件、周边外环元件以及一些横向支撑件，所述横向支撑件沿径向间隔在所述中心内环元件和所述周边外环元件之间，并  
15 与所述中心内环元件和所述周边外环元件相连，其中所述磁场穿过至少所述这些横向支撑件之间的空间。
4. 根据权利要求1所述的感应熔炉，其中，所述至少一个感应线圈包括：  
至少一个主动感应线圈部分，所述至少一个主动感应线圈部分中的每一个都与交流电源相连；以及  
20 至少一个被动感应线圈部分，所述至少一个被动感应线圈部分与一电容相连形成谐振电路，其中，所述至少一个主动感应线圈部分中产生的磁场与所述至少一个被动感应线圈部分进行磁耦合从而诱导产生流过所述至少一个被动感应线圈部分的次级电流，所述次级电流产生一次级磁场，所述次级磁场穿过所述导电材料在所述导电材料中诱导产生涡流，所述涡流对所述导  
25 电材料进行加热。
5. 根据权利要求4所述的感应熔炉，其中，所述至少一个主动感应线圈部分和所述至少一个被动感应线圈部分彼此内外布置。
6. 根据权利要求4所述的感应熔炉，其中，所述至少一个主动感应线圈部分和所述至少一个被动感应线圈部分彼此间开布置。

7. 根据权利要求1所述的感应熔炉，其还包括炉底风冷盘，所述炉底风冷盘形成于所述磁通集中器和所述底部支承构件之间以便致冷媒介流过从而冷却所述至少一个感应线圈。

8. 根据权利要求1所述的感应熔炉，其中，所述坩埚形成一种基本上圆柱形的容积来容纳所述导电材料，所属基本上圆柱形的容积的直径与高度的比值大约在3:1到6:1的范围之内。

9. 一种对导电材料进行加热的感应熔炉，包括：

容装所述导电材料的坩埚；

用于支承坩埚底部的底部支承构件，所述底部支承构件其中具有一些便于磁场通过的通道；

位于所述底部支承构件之下的磁通集中器；以及

至少一个感应线圈，位于所述底部支承构件和所述磁通集中器之间，所述至少一个感应线圈由至少一个主动线圈部分和至少一个被动线圈部分构成，其中流过所述至少一个感应线圈的电流产生的磁场穿过所述导电材料在所述导电材料中诱导产生涡流，所述涡流对所述导电材料进行加热。

10. 一种对导电材料进行加热的方法，包括步骤：

将坩埚支承在底部支承构件上；

将所述导电材料置于所述坩埚中；

流过位于所述底部支承构件之下的至少一个感应线圈的电流产生一磁场；

使得磁场方向指向所述坩埚的所述底部；以及

使得所述磁场与所述坩埚中的所述导电材料产生磁耦合，从而对所述导电材料进行感应加热。

11. 根据权利要求10所述的方法，其中，使得所述磁场方向指向所述坩埚的所述底部的步骤包括将一磁通集中器置于所述至少一个感应线圈之下。

12. 根据权利要求10所述的方法，其中，所述电流的频率可以进行调节以便采用电磁方式对所述导电材料进行搅拌。

13. 根据权利要求10所述的方法，其还包括步骤：

通过使得所述至少一个感应线圈的至少一个被动线圈部分与至少一个主动线圈部分进行磁耦合，在所述至少一个感应线圈的所述至少一个被动线

圈部分中诱导产生次级电流，所述至少一个主动线圈部分与一交流电源相连，所述次级电流在所述至少一个被动线圈之外产生次级磁场；以及

使得次级磁场与所述坩埚中的导电材料进行磁耦合从而对所述材料进行感应加热。

## 带有底部感应线圈的熔炉

### 5 相关申请的交叉引用

本申请要求于2001年5月22日申请的美国临时申请US60/292679的优先权。

### 技术领域

10 本发明通常涉及对导电材料进行电感应熔炼、加热以及搅拌，尤其涉及带有底部感应线圈的感应熔炉。

### 发明背景

导热率相对较低的材料例如铝可以在燃烧矿物燃料的反射炉进行熔炼和加热。图1中所示的是燃烧矿物燃料的反射炉100的主要特征。坩埚110的结构为可以容纳材料深度较浅一熔池120。由位于熔池上方的燃烧矿物燃料  
15 的燃烧器115产生的热量反射到由坩埚盖125、熔池的表面以及坩埚110的侧壁所限定的容积中。由于熔池的深度较浅，可以使得热传递的时间最小化，因此可以通过传导将热量传递给整个熔融体。为了便于将热量从熔池的上部区域传递给下部区域，采用了一个机械搅拌器130（在图1中有示意性表示）在熔池中形成流通。如果熔融池内所装的是铝，整个熔池就必须至少保持在  
20 铝的熔点之上，其熔点通常为661℃。通过卸掉盖125并将料批置于坩埚内可以向坩埚添加料批。熔融材料可以在能够选择性地关闭的出口162处从坩埚中排出。

在反射炉中的熔融和加热铝材从能量输入、时间以及操作的简便性方面来看是一种效率较低的工艺。此外，由于机械搅拌器是淹没在熔融池内运转  
25 的，因此维护费用和产生故障方面的费用较高。本发明通过提供一种装置和方法，通过磁场感应加热以一种高效率的方式对铝进行熔融、加热和/或搅拌。该装置和方法对熔化、加热和/或搅拌除铝及其合金之外的材料以及其它导热率相对较低的导电材料也具有特殊的价值。

### 发明概述

在一个方案中,本发明提供了一种在具有底部感应线圈的感应熔炉中对导电材料进行融化、加热和/或搅拌的装置和方法。该线圈位于底部支承构件和磁通集中器之间,因此通过流通过线圈中的电流在线圈外部产生的磁场直接指向熔炉的坩埚中的材料以便与其磁耦合并感应加热该材料。该线圈可以由多个主动和被动线圈部分构成。主动线圈部分与交流电源的输入量阻抗匹  
5 配,被动线圈部分形成一感应/电容谐振电路。被动线圈部分与主动线圈中产生的磁场的磁耦合会产生次生磁场。由主动线圈和被动线圈产生的这些磁场都指向熔炉的坩埚中的材料以便感应加热该材料。从下述描述和附后的权利要求书中可以对本发明的这些方面以及其它的方面有一个清楚的了解。

#### 10 附图简要说明

为了说明本发明,给出了一种目前为优选的实施方式的一些附图;不过,需要理解的是,本发明并不限于正好是图中所示的结构和方式。

图1是一种普通的燃烧矿物燃料的反射炉的剖视图;

图2是表示铝在一定温度范围内的电阻率的图表;

15 图3所示的是本发明的感应熔炉的一个实例的剖视图;

图4(a)所示的是用于本发明的感应熔炉的底部支承构件的一个实例的平面图;

图4(b)所示的是图4(a)中的底部支承构件沿图4(a)中所示的剖面A-A的剖视图;

20 图5(a)所示的是用于本发明的感应熔炉的感应线圈的一种结构的示意图,其中该线圈包括一主动线圈部分和被动线圈部分;

图5(b)所示的是用于本发明的感应熔炉的感应线圈的另一种结构的示意图,其中该线圈包括一主动线圈部分和被动线圈部分;

图6(a)所示的是用于本发明的感应熔炉的感应线圈的另一种结构的示意图,其中该线圈包括一主动线圈部分和被动线圈部分;  
25

图6(b)所示的是用于本发明的感应熔炉的感应线圈的另一种结构的示意图,其中该线圈包括一主动线圈部分和被动线圈部分;

图7所示的是用于本发明的感应熔炉的一种应用的剖视图;

图8是表示用于本发明的感应熔炉的具有主动线圈部分和被动线圈部分的感应线圈的优点的矢量图。  
30

### 具体实施方式

图3、图4(a)已经图4(b)所示的是本发明的感应熔炉10的一个实例。尽管优选在熔炉10对铝这种导电材料进行加热、熔化和/或搅拌，但是材料的选择并不对本发明的范围存在限制。而且，此处所采用的术语“铝”适用于纯铝和对组分没有限制的铝合金。炉基12位于基面14之下，并可以采用任何能够承载适当负载的材料例如混凝土构成。

坩埚60由一种适当的耐火材料制成。该坩埚上可以带有一个用塞子堵住的出口或带有阀门的出口62，该出口通常通向坩埚的内部位于横倾线64（在图3中采用虚线表示）之上。当位于横倾线之上的熔融体通过出口62被排出时位于横倾线之下的称之为残余熔融体的熔融铝就被剩下来为流过感应线圈30的电流产生的磁场提供最小的感应耦合负载。在该线圈上连接有适当的交流电源（图中未示出）以提供该电流。

如图3所示，在炉基12上设有磁通集中器2。在本发明的该非限定实例中，该磁通集中器为具有凸出中心部分和凸出外侧部分的环形，在凸出中心部分和凸出外侧部分之间形成一空间，感应线圈30卷绕在该空间内。优选但非必须的是，磁通集中器20由一些位于非导电性胶结材料中的离散的铁磁性元件22构成，这些铁磁性元件例如是小钢丸，胶结材料例如为合成环氧材料。在本发明的该实施例中，磁通集中器20可以采用铸造方式制成。

如图3所示，感应线圈30位于熔炉的底部之下并置于磁通集中器20之上。线圈30通常形成一个螺旋盘绕的感应线圈，该感应线圈形成一种该感应线圈基本上处于同一水平面内的“薄饼”结构。线圈30优选可以埋入非导电材料例如环氧合成物中，或者置于如图3所示的炉底风冷盘50中。坩埚60支承在底部支承构件40上。在本发明的该实例中，如图4(a)以及图4(b)所示，底部支承构件40包括中心内环元件42、一些横向支撑件44以及周边外环元件46。横向支撑件44可以一种工字梁结构钢，该支撑件一端与中心内环元件42相连而相反的一端与周边外环元件46相连。当横向支撑件44由结构钢或其它导电材料构成时，必需使得各支撑件的宽度最小，这样这些支撑件就不会对流过线圈30的交流电流所产生的磁场产生明显较低的磁阻路径。而且如果支撑件44为铁磁性的，那么，这些支撑件就必需通过非导电性元件连接到周边外环元件46上，该非导电性元件例如是在支撑件44和外环元件46之间的螺栓

连接件中的电绝缘垫片，从而防止在横向支撑件44和周边外环元件之间形成明显较低的磁阻路径。盘形底部支承构件40的其余容积可以采用非导电材料填充，例如通过将组装好的元件42、44以及46铸在混凝土合成物中以便为坩埚60提供一个更为坚固的支承基座。在本实例中，该底部支承构件40的结构  
5 可以是其它形状和结构，只要该构件能够对坩埚提供结构性支承并能够使得足够多的由线圈30产生的磁场通过从而能够与坩埚中的熔融体进行磁耦合就可以了。

代表性的磁力线32（图3中采用虚线表示）图释（在剖视图中）在感应熔炉10的右侧的磁场，该磁场在电流从适当的电源输送给线圈30时产生。在  
10 熔融铝中感应产生的涡流会产生电磁力，该电磁力将有效地搅拌熔融铝，因此不需要搅拌装置。而且，如果需要的话可以改变交流电流的频率来加强电磁搅拌效果。

感应线圈30可以由中空的流体冷却的导体制成，或者优选采用空气冷却的导体制成。对于空气冷却的导体，可以采用李兹线（Litz wire）。在其它  
15 使用场合，线圈30可以具有其它形状，例如横截面为矩形，并且可以由例如挠性固体导体例如铜构成。

感应线圈30可以由一个或多个独立线圈部分构成，这些线圈连接到一个或多个适当的电源上。感应线圈30还可以由两个或多个独立线圈部分构成，其中一个或多个线圈部分与一适当的电源（主动线圈）相连，而其它的线圈  
20 为与电容元件相连从而形成一种谐振感应/电容（L-C）回路。在该一个或多个主动线圈中流动的电流产生的磁场将在该一个或多个被动线圈中诱导出次级电流。在主动和被动线圈部分中流动的电流产生的磁场指向坩埚中的熔融体并与该熔融体进行磁耦合从而对该熔融体进行加热。

图5（a）和图5（b）所示的是带有主动线圈部分30a和被动线圈部分30b  
25 的感应线圈的一个实例。由电源70通过负载匹配电容 $C_1$ 向线圈部分30a提供的交流电流 $I_1$ 产生一个磁场，该磁场在线圈部分30b中诱导产生一电流 $I_2$ ，该线圈部分30b与谐振电容 $C_2$ 串联形成一个L-C谐振电路。

在图6（a）和图6（b）中，主动线圈部分30a和被动线圈部分30b在一平面内彼此间隔开，而不是象在图5（a）和图5（b）所示的那样彼此一内一外

地布置在一平面内。在本发明的其它实例中，主动和被动线圈部分可以布置成其它结构，例如主动和被动线圈部分彼此重叠。

主动和被动线圈部分的优点还可以从图8所示的矢量图中很清楚地显示出来。在该图中，对于由主动线圈电路中形成的回路，矢量OV表示如图5(a)、图5(b)、图6(a)和图5(b)所示的主动线圈部分 $L_{30a}$ 中的电流 $I_1$ 。  
 5 矢量OA表示主动线圈的电压的有功分量 $I_1 R_{30a}$ （图中没有示出 $R_{30a}$ ）。矢量AB表示主动线圈的电压的感应分量 $\omega L_{30a} I_1$ （其中 $\omega$ 为 $2\pi$ 的 $f$ 倍数， $f$ 为电源70的工作频率）矢量BC表示由被动线圈部分 $L_{30b}$ 诱导产生的并施加在主动线圈部分 $L_{30a}$ 上的电压 $\omega M I_2$ 。矢量CD表示施加在连接于电源70和主动线圈部分 $L_{30a}$   
 10 之间的串联电容 $C_1$ 上的电压 $I_1/\omega C_1$ 。矢量OD表示电源70的输出电压 $V_{ps}$ 。

对于由被动线圈电路中形成的回路，矢量OW表示被动线圈部分 $L_{30b}$ 中的由电流 $I_1$ 产生的磁场诱导产生的电流 $I_2$ 。矢量OF表示被动线圈的电压的有功分量 $I_2 R_{30b}$ （图中没有示出 $R_{30b}$ ）。矢量FE表示被动线圈的电压的感应分量 $\omega L_{30b} I_2$ 。矢量EC表示由主动线圈部分 $L_{30a}$ 诱导产生的并施加在被动线圈部分  
 15  $L_{30b}$ 上的电压 $\omega M I_1$ 。矢量GO表示施加在跨接在被动线圈部分 $L_{30b}$ 上的电容 $C_2$ 上的电压 $I_2/\omega C_2$ 。

主动线圈电路由电源电压 $V_{ps}$ 驱动，而被动线圈回路并不与主动电源相连。由于主动和被动线圈都相互连接，矢量BC与矢量OB相加获得矢量OC，矢量OB表示在没有被动电容线圈电路时主动线圈部分上的电压（ $V'_{furn}$ ），  
 20 矢量OC表示在具有被动电容线圈电路时主动线圈部分上的电压（ $V_{furn}$ ）。最终的感应熔炉电压 $V_{furn}$ 的滞后功率因数角 $\phi$ （在X轴和矢量OC之间的逆时针角度）比采用矢量OB（图中虚线）表示的传统熔炉的滞后功率因素角要小。如图8所示，功率因素角的改善量为 $\Delta\phi$ 。

由于主动和被动线圈部分，被动线圈中的电感性阻抗基本上被电容性阻抗（即 $\omega L_{30b} = 1/\omega C_2$ ）所抵消。被动线圈中的未抵消电阻性分量 $R_{30b}$ 通过两个  
 25 电路之间的相互感应被反射到主动线圈电路中并使得主动线圈电路的有效电阻增加，因此改善了该功率因素角，或者改善了该线圈系统的功效。

而且，电源的输出量的功率因素角 $\psi$ 改善了如图所示的 $\Delta\psi$ ，该角度为在矢量OJ（在没有被动熔炉线圈电路的情况下，电阻性分量矢量OA和电容

性分量矢量AJ的合矢量( $V'_{ps}$ )和矢量OD(在有被动熔炉线圈电路的情况下,电阻性分量矢量OH和电容性分量矢量HD的合矢量( $V_{ps}$ ))之间的角度。

在图3中,由磁通集中器20和底部支承构件40限定的炉底风冷盘50提供了一个气体(通常为空气,但不限于空气)流动空腔,可以由空气压缩机械装置(附图中没有示出)通过该空腔提供致冷空气将感应线圈30中产生的热量带走。

通常,在熔炉10的顶部上方设置有一个盖子(图3中没有给出)以避免热量从熔融体散失掉。通过一种机械处理装置可以将该盖子拆卸掉从而可以向熔炉中添加原料。

下面是本发明的感应熔炉10的两个应用实例。在这两个实例中,感应熔炉10的装铝容量为125千吨(MT),最少残留熔融体容积为20-25MT,其生产率为10MT/小时。熔融铝的密度为2370千克/立方米,其能量消耗为320千瓦-小时/吨。在这两个实例中,线圈30的参数列于表1中,这些参数与图7中所标的参数符号对应。

表1—线圈参数

| 线圈参数            | 参数值    |
|-----------------|--------|
| 内径( $D_{in}$ )  | 2000mm |
| 外径( $D_{out}$ ) | 6400mm |
| 线圈总长度           | 1300mm |
| 线圈横截面直径         | 50mm   |

线圈30在这两个实例中的为圆形绝缘动力电缆,适于在60赫兹低于标示电压和电流下使用。在这两个实例中的磁通集中器20的相对磁导率近似为4。

在这两个样品实例中,呈现出坩埚60的内部的通常的圆柱形状的熔融金属负载的参数限定在表2中。

表2—负载参数

| 负载参数                   | 参数值    |
|------------------------|--------|
| 负载直径( $D_{ld}$ )       | 7200mm |
| 底部负载区域的高度( $H_{bot}$ ) | 300mm  |
| 顶部负载区域的高度( $H_{top}$ ) | 1000mm |

- 在该实例中的负载参确定了内部坩埚负载容积，该负载容积的直径与高度的比例大约为5.5：1（7200mm/1300mm）。这提供了一种合理的深度较浅的金属负载的熔融体，该该深度的金属负载的热阻率相对较低，而电阻率相对较高。如图2所示，在铝的熔点和在熔点之上，电阻率（ $\rho$ ）会显著上升。
- 5 优选的是坩埚的内负载容积的直径与高度的比值大约在3：1到6：1的范围之内。

- 在第一实例中，通过磁感应想熔融铝提供充足的热量使得在坩埚的内侧的顶部金属负载区域内的固体铝（其平均电阻率大约为 $6\mu\Omega\cdot\text{cm}$ ）熔化，并将熔融铝保持在坩埚的底部负载区域中。在该第一实例中，感应熔炉10起到
- 10 一个铝熔化熔炉的作用。由一个或多个适当的电源施加60赫兹的电力，以便获得表3中所列的输出量特征。

表3—电源输出参数

| 电力参数 | 参数值    |
|------|--------|
| 线圈电压 | 2282伏  |
| 线圈电流 | 45498安 |

由于在该第一实施例中施加到线圈30上的电力为60赫兹，线圈的运转参数列于表4中，

表4—线圈运转参数

| 线圈运转参数 | 参数值    |
|--------|--------|
| 线圈损耗   | 636千瓦  |
| 线圈功率   | 3836千瓦 |
| 线圈效率   | 83.4%  |

以及传递给熔融铝负载功率列在表5中

表5—传递给负载的功率

| 负载功率参数   | 参数值    |
|----------|--------|
| 底部区域负载功率 | 3198千瓦 |
| 顶部区域负载功率 | 2千瓦    |
| 总负载功率    | 3200千瓦 |

在第二实例中，通过磁感应将充足的热量输送给熔融金属铝负载（其平均电阻率大约为 $24.5\mu\Omega\cdot\text{cm}$ ）以便将熔融铝保持在顶部和底部负载区域。在该第二实例中，感应熔炉10起到一个熔融铝加热熔炉的作用。从一个或多个适当的电源供给60赫兹的电力以便获得表6所示的输出特性。

表6—电源输出特性

| 电力参数 | 参数值    |
|------|--------|
| 线圈电压 | 2281伏  |
| 线圈电流 | 45464安 |

5        由于在第二实例中施加在线圈30上的电力为60赫兹，线圈的运转参数列于表7中，

表7—线圈运转参数

| 线圈运转参数 | 参数值    |
|--------|--------|
| 线圈损耗   | 634千瓦  |
| 线圈功率   | 3834千瓦 |
| 线圈效率   | 83.5%  |

以及传递给熔融铝负载功率列在表8中

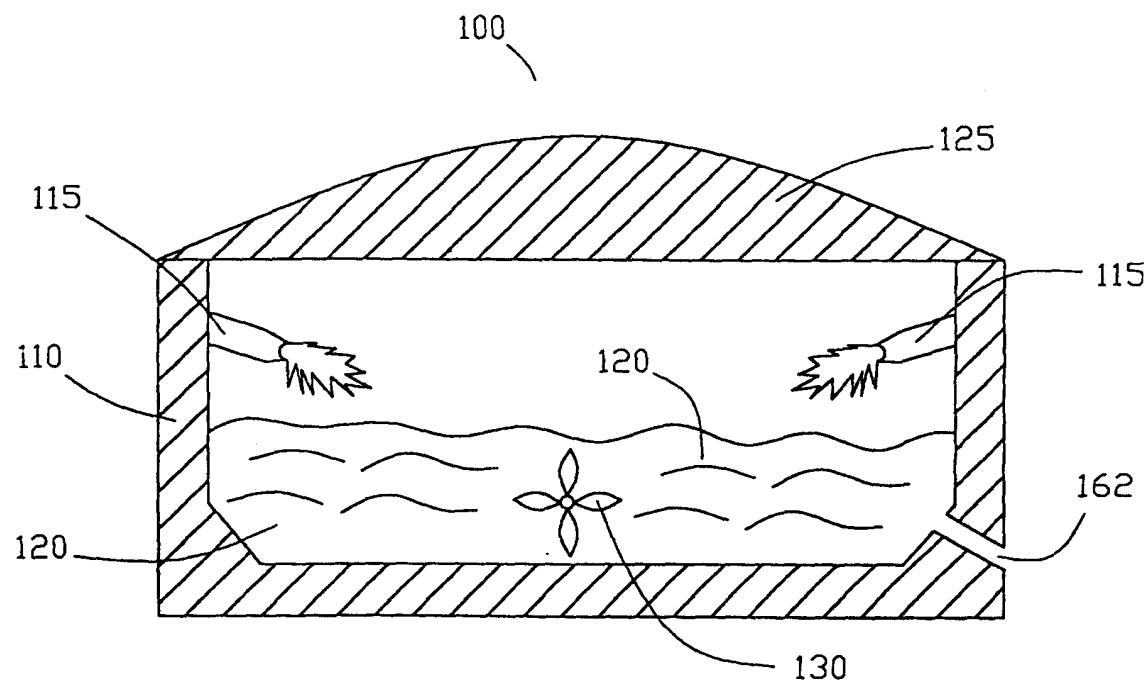
表8—传递给负载的功率

| 负载功率参数   | 参数值    |
|----------|--------|
| 底部区域负载功率 | 3196千瓦 |
| 顶部区域负载功率 | 4千瓦    |
| 总负载功率    | 3200千瓦 |

10       在两个实例中，流过炉底风冷盘50的高压致冷空气用于冷却线圈30。在线圈周围当空气温度上升 $\Delta t$ 等于的 $30^{\circ}\text{C}$ 时，对于第一实例来说该致冷空气的流速为970立方/分钟，对第二实例来说，该致冷空气的流速为973立方/分钟。两个实例都证明了本发明的感应熔炉10能获得超过80%的效率，其中感应线圈的损耗低到足以能够采用空气对线圈进行冷却而不需要采用水来进行冷却。

此外,在起初的熔炉启动时,当固体铝被置于坩埚的底部负载区域中时,感应熔炉10将会比现有的燃烧矿物的熔炉更快地熔化固体铝。

前述实施例并不对在此所公开的本发明的范围进行限制。在此所公开的本发明的范围还涉及附后的权利要求书。



现有技术

图 1

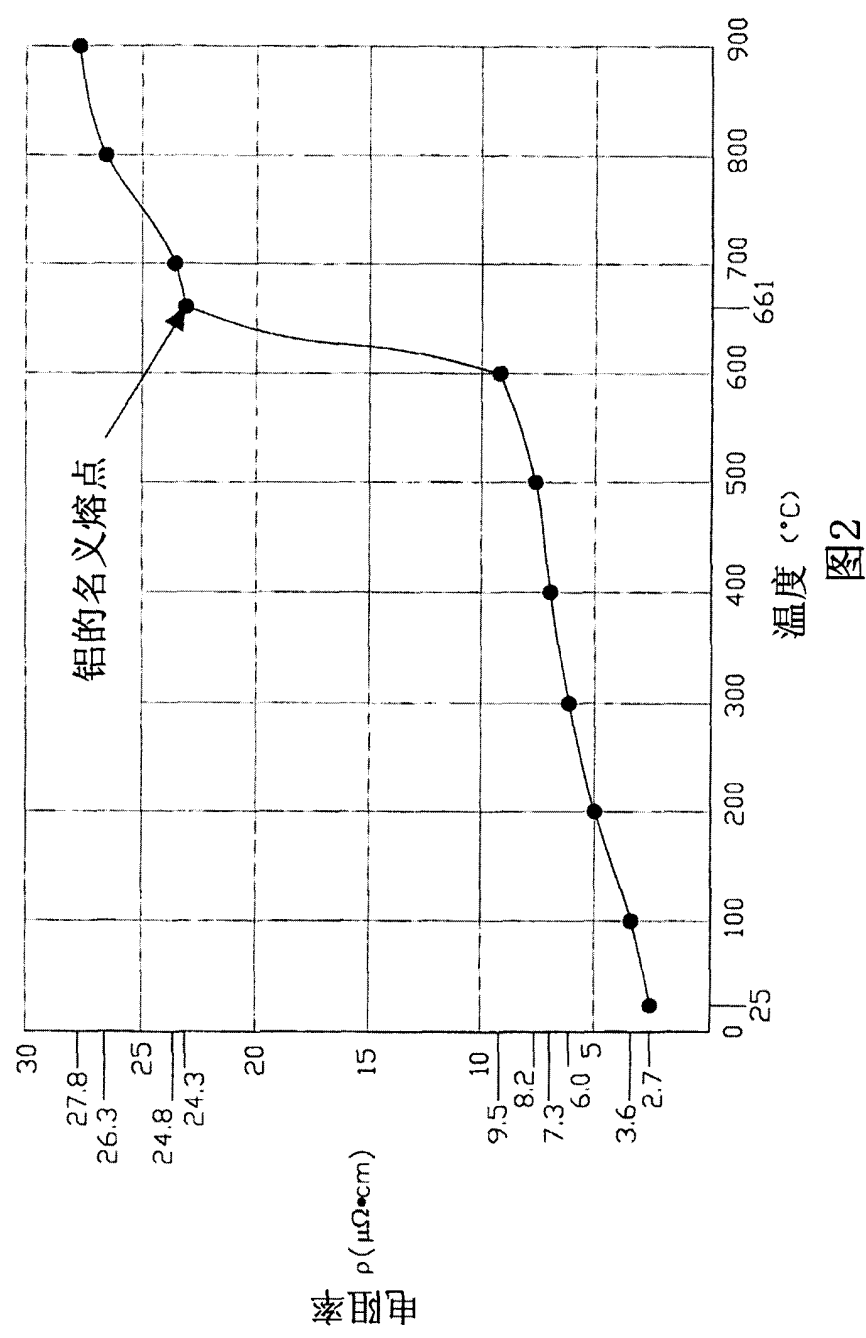


图2

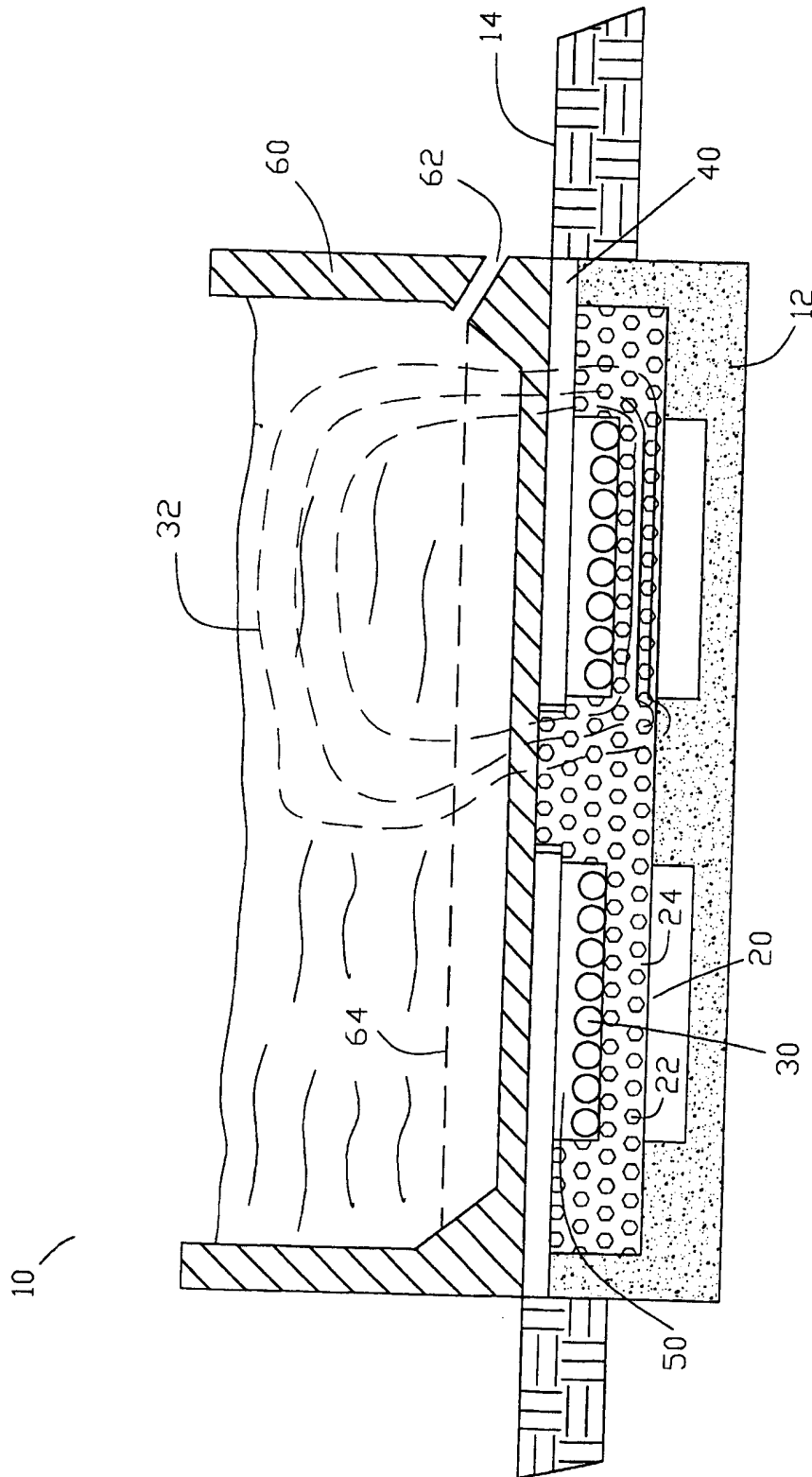


图 3

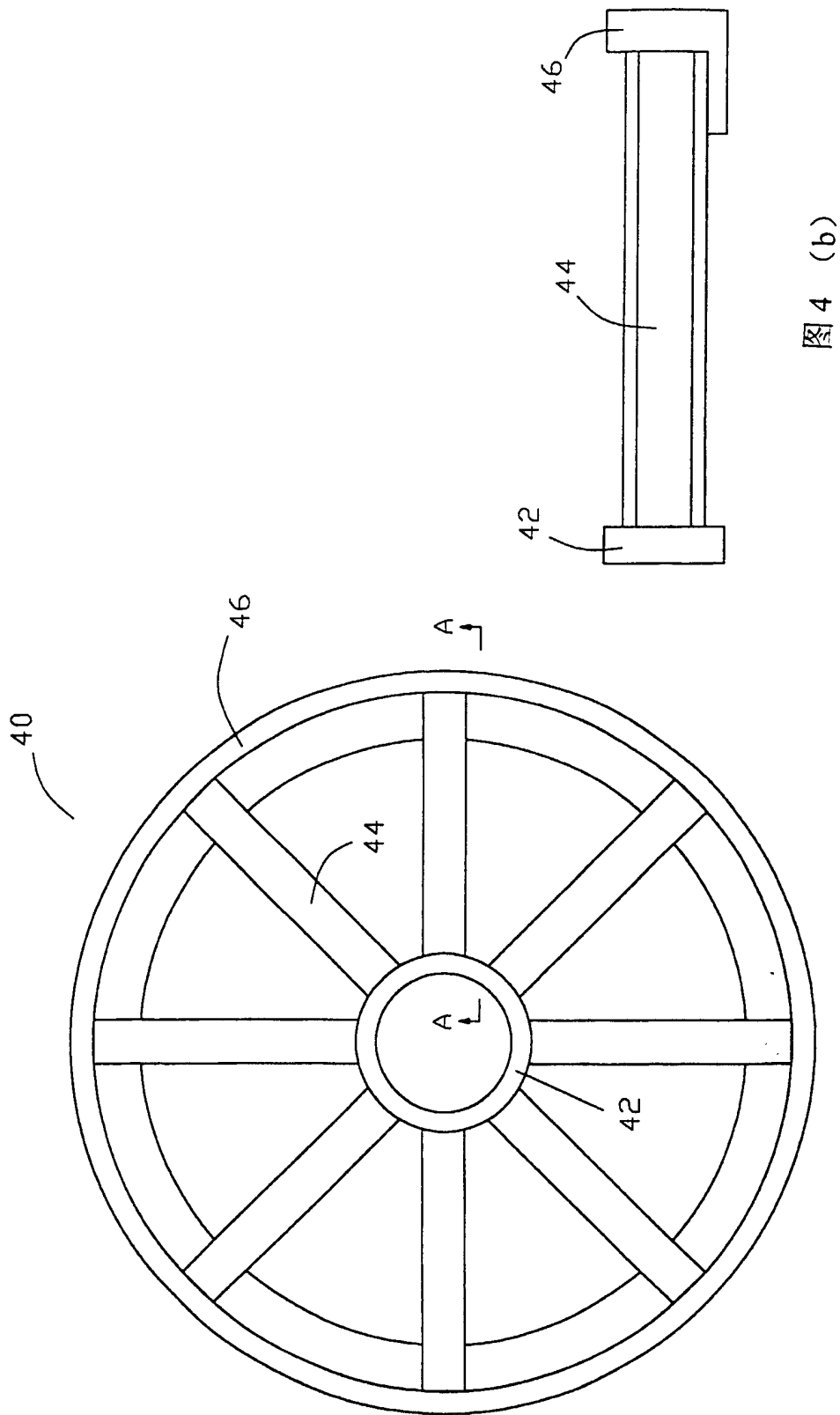


图 4 (a)

图 4 (b)

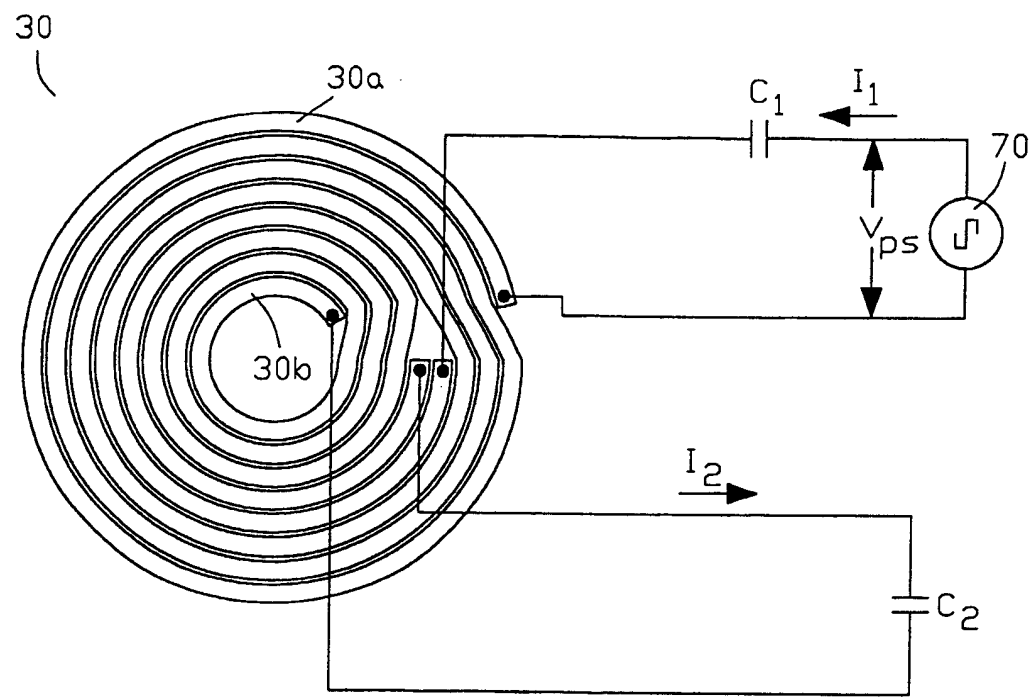


图 5 (a)

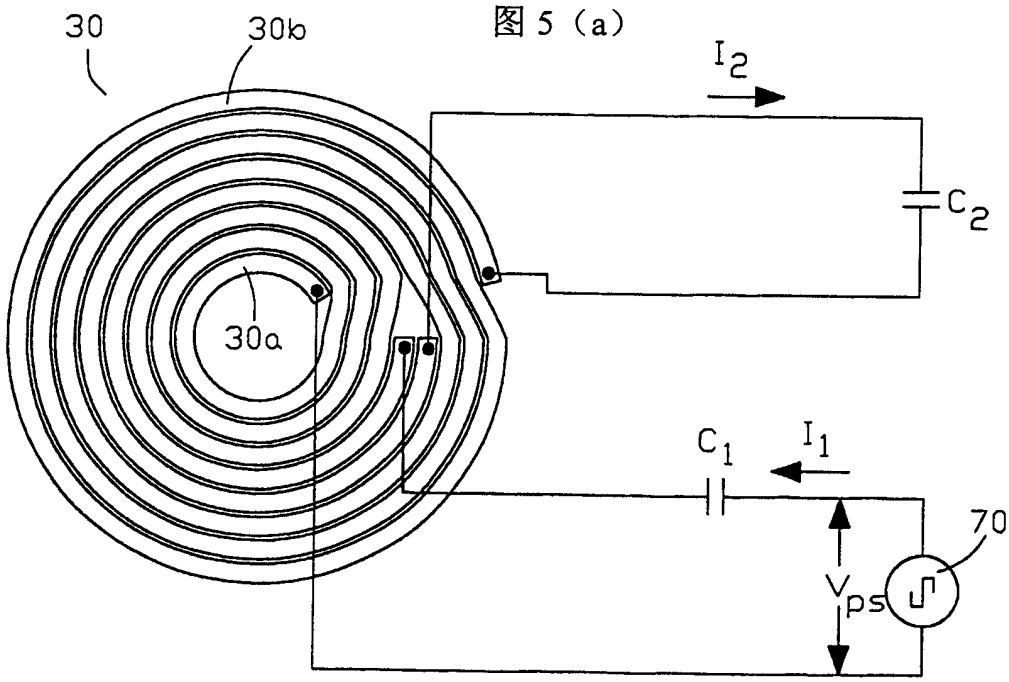


图 5 (b)

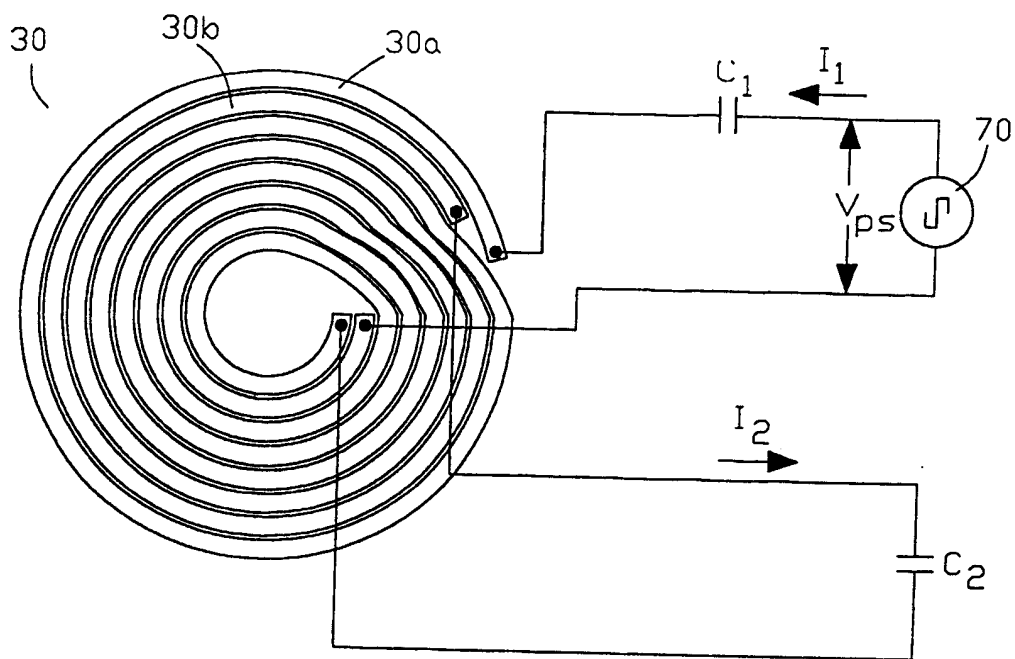


图 6 (a)

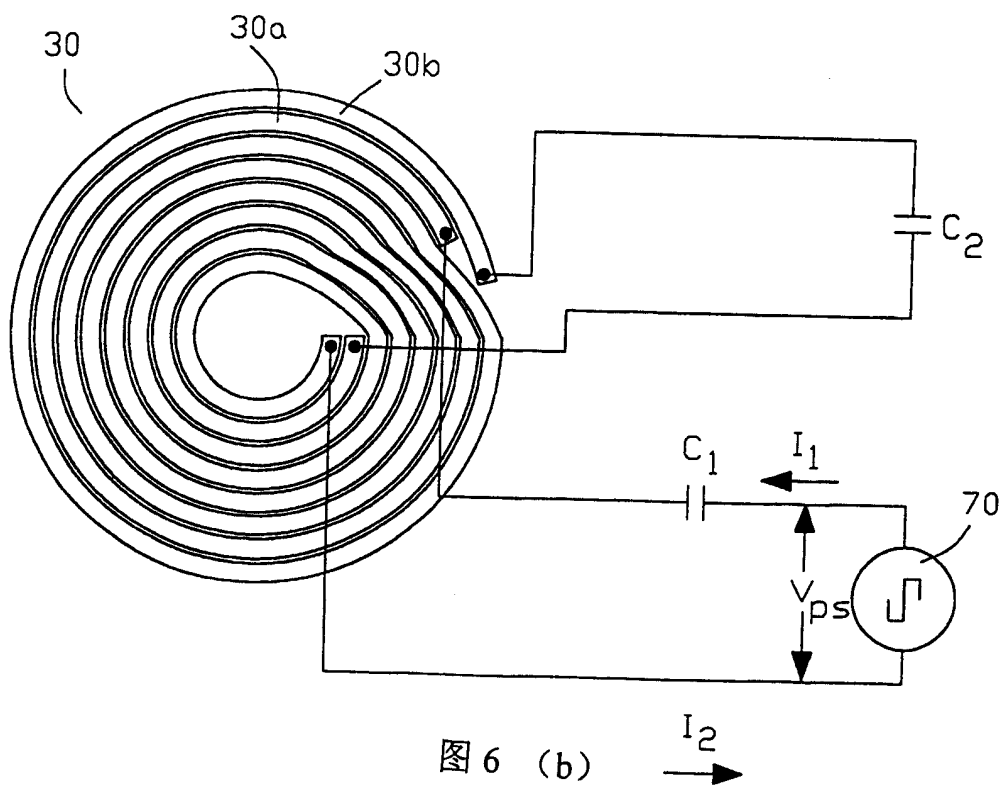


图 6 (b)

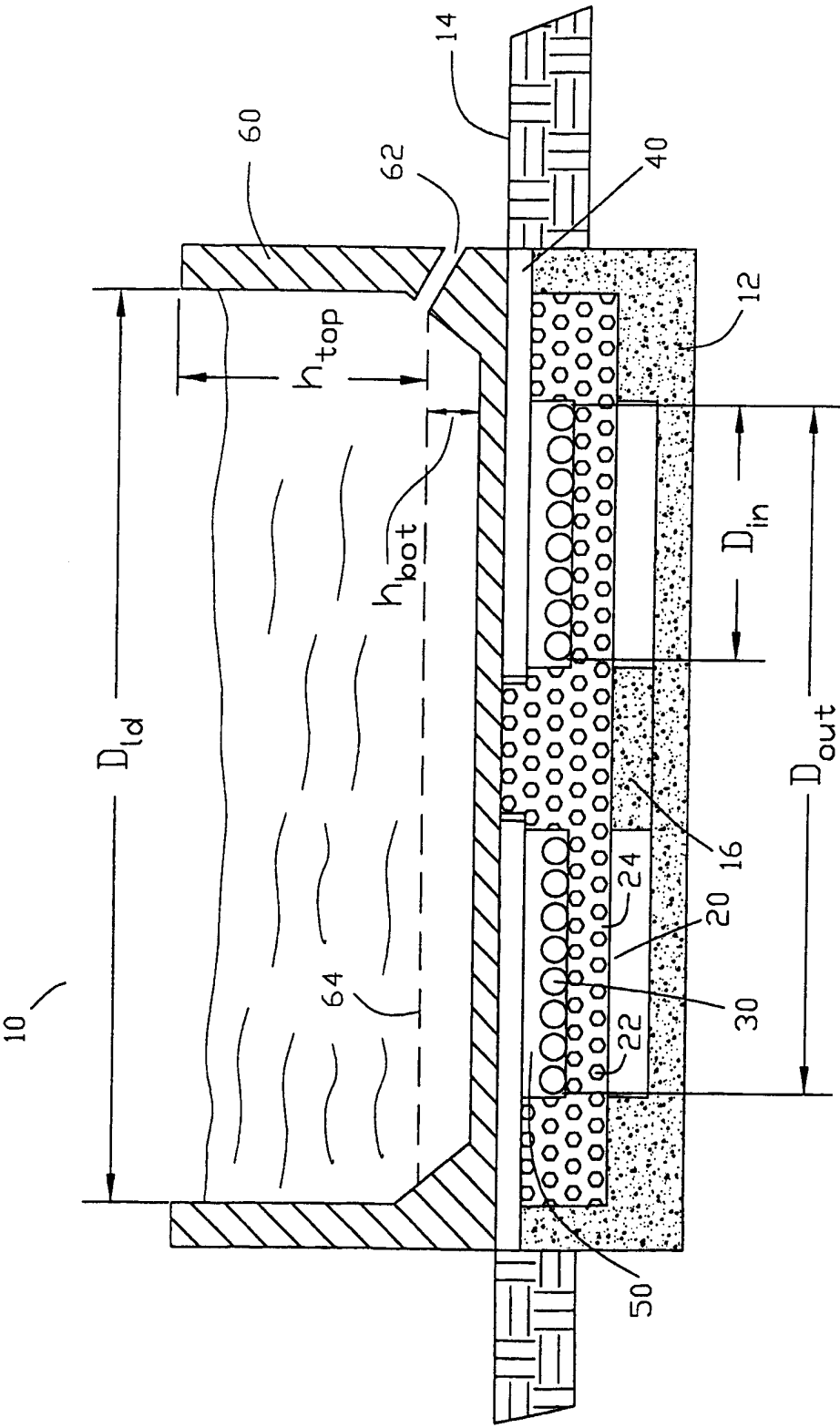


图 7

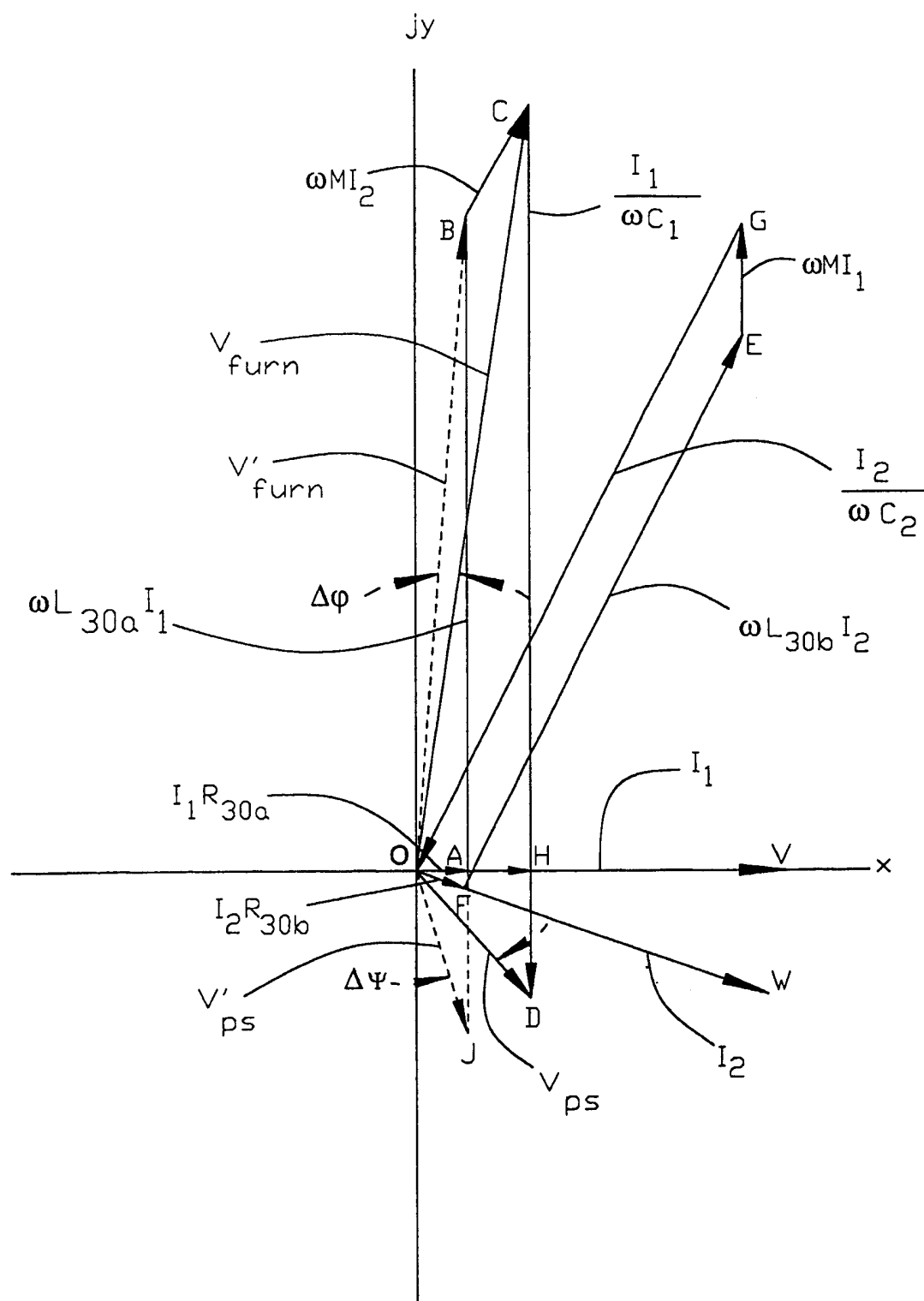


图 8