



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 00802259.3

[45] 授权公告日 2005 年 8 月 3 日

[11] 授权公告号 CN 1213171C

[22] 申请日 2000.10.10 [21] 申请号 00802259.3

[30] 优先权

[32] 1999.10.13 [33] US [31] 08/416,767

[32] 2000.4.10 [33] US [31] 09/546,273

[86] 国际申请 PCT/US2000/027936 2000.10.10

[87] 国际公布 WO2001/027353 英 2001.4.19

[85] 进入国家阶段日期 2001.6.13

[71] 专利权人 阿尔科公司

地址 美国宾西法尼亚州

[72] 发明人 格雷厄姆·E·霍姆列

克劳德·高施尔 路易丝·皮尔逊

审查员 张群锋

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利  
商标事务所

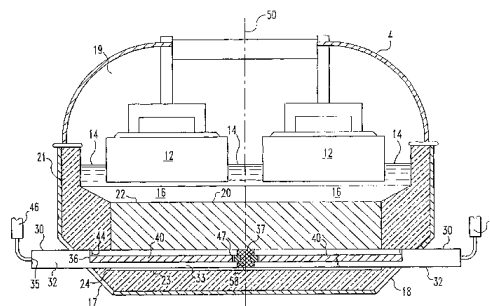
代理人 杜日新

权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 5 页

[54] 发明名称 带隔件的阴极导电棒

[57] 摘要

用于生产铝的电解槽 4，它包括槽壁 17，18、  
母线 46，48、碳质阴极块 10 以及连接此母线与阳  
极块的导电棒 30。此导电棒包括的铁类金属体具  
有实心隔件 32 与确定出包含铜插头 40 的腔部 34 的  
套 33。此隔件具有与上述母线连接的外端部 35 以  
及最好是向内与前述槽壁相分开的内端部 36。此  
隔件使该铜插头与母线分开，由此减少了槽壁的热  
损耗。



1. 一种用于铝生产的电解还原槽，此槽包括槽壁、在槽壁外部的母线、阳极、与阳极相分开的碳质阴极块以及连接此母线与阴极块的导电棒，此导电棒包括：

(a)铁类金属体，它又包括

(1)具有与所述母线连接的外端部和与此外端部向内分开的内端部的实心的铁类金属隔件；

(2)确定出腔部的铁类金属套；

(b)在上述腔部内的铜插头，此铜插头具有与此隔件相邻的外端部；  
以及

(c)在所述阳极与阴极块之间的熔融盐浴。

2. 根据权利要求1所述的槽，其中所述阳极块确定出切口而上述导电棒位于此切口内。

3. 根据权利要求2所述的槽，还包括

(d)在上述切口内用于将所述导电棒与所述阴极块连接的装置。

4. 根据权利要求3所述的槽，其中所述切口内的装置包括导电材料。

5. 根据权利要求3所述的槽，其中所述切口内的装置选自铸铁、碳质粘结剂和夯实的碳质糊剂构成的组中。

6. 根据权利要求1所述的槽，其中所述腔部具有多边形横剖面而所述铜插头具有多边形横剖面。

7. 根据权利要求1所述的槽，其中所述腔部具有大致圆形的横剖面而所述铜插头具有大致圆形的横剖面。

8. 根据权利要求1所述的槽，其中所述阴极块包括约30~100%重量的石墨或石墨化阴极块。

9. 根据权利要求1所述的槽，其中所述铁类金属套与所述隔件成为整体。

10. 根据权利要求1所述的槽，其中所述隔件的内端部向内与所述槽壁分开。

11. 根据权利要求 1 所述的槽, 其中还包括将所述铜插头密封于所述腔部内的钢塞。

12. 根据权利要求 11 所述的槽, 其中还包括在所述腔部内于此铜插头和钢塞之间的膨胀容差空隙。

13. 根据权利要求 1 所述的槽, 其中所述导电棒还确定出用于从所述腔部释除压力的通风孔。

14. 一种于电解槽中生产铝的方法, 此电解槽具有确定出包含熔融盐浴的室的槽壁、与此盐浴相接触的阳极以及在此槽壁之外的母线, 所述方法包括:

(a)提供阴极组件, 此组件包括

(1)与前述阳极分开的碳质阴极块,

(2)铁类金属体, 包括具有与所述母线连接的外端部和与此外端部向内分开的内端部的铁类金属隔件, 以及确定出腔部的铁类金属套,

(3)在上述腔部内的铜插头, 此铜插头具有与前述隔件相邻的外端;

(b)使电流从该阳极通到上述阴极组件, 由此在所述槽内产生铝。

15. 根据权利要求 14 所述的方法, 其中所述铁类金属套与所述隔件形成整体。

16. 根据权利要求 14 所述的方法, 其中所述隔件的内端部在前述槽壁之内。

## 带隔件的阴极导电棒

### 技术领域

本发明涉及电解槽。本发明的一个方面则涉及用于生产铝的电解还原熔炼槽的阴极导电棒。

### 背景技术

铝是通过在电解液中电解还原氧化铝而生产的。由电解还原氧化铝大批量生产的铝称为原生铝。

电解涉及到与化合物分解有关的电化学氧化还原。电流通过两个电极之间而通过含溶解的氧化铝的熔融  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  冰晶石浴。冰晶石电解液包括的熔融  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  冰晶石浴含有氧化铝与其他物质如溶解于此电解液中的萤石。这种化合物中的金属组份则随着相应的氧化还原而还原。

电流从阳极到阴极通过两电极间，按所需的电动势提供电子来还原此金属组份，这种金属组份例如在铝的电解熔炼中通常是所需的电解产物。产生所需反应耗用的电能取决于化合物的性质和电解质的组成。

**Hall - Heroalt** 铝还原槽是在低电压(例如 4 ~ 5V)和高电流(例如 70000 ~ 325000A)下工作。此高电流通过阳极结构进入还原槽，然后通过冰晶石浴，通过熔融铝金属液层而进入碳阴极块。此电流通过阴极导电棒遍及到整个槽内。

随着电流通过此电解液，氧化铝便在阴极电解还原为铝，而碳则在阳极大部分氧化为二氧化碳。这样生产出的铝聚集于熔融铝液层上并周期性地引出。工业用的铝还原槽运转时使液体铝在槽中保持最小的深度，而以其表面用作实际的阴极。此最小的铝深度约 2 英寸。但可以达 20 英寸。

氧化铝 - 冰晶石浴保持在固定深度的熔融铝金属液层的顶面上。电流通过此冰晶石浴时其电压损耗正比于电流通路长度，即正比于阳极与熔融铝液层间的极间空隙。典型的电压损耗约 1V/英寸。阳极至阴极间距

的任何增加都会限制最大的功率效率和限制电解槽的工作效率。

通过电解槽的电压降的大部分是发生于电解液中，而且是归因于此电解液或电解浴在阳极至阴极间距上的电阻。用于熔解于熔融冰晶石浴中氧化铝电解还原的普通 Hall-Héroult 槽的浴电阻或电压降，包括分解电势即用于生产铝的能量以及由于浴电阻在极间空间产生的热能所致的附加电压。此后一种热能造成的电压降占整个槽上总电压降的 35~45%，而按可比的测量方法计算，多达此热能造成电压降两倍的则源于分解电势。

减小阳极-阴极间距的一个有害结果是，当通过电解在阳极产生的金属由于与阳极产物接触而氧化时，会显著地降低电解槽中的电流效率，例如在电解溶解于冰晶石中的氧化铝的过程中，在阴极产生的铝金属由于极其接近于阳极产生的碳的氧化物，就会很快氧化回氧化铝或铝盐。缩短阳极与阴极的间距会使阳极产物与阴极产物更多地接触，这样会显著加速已还原金属的再氧化或“逆反应”。

通过电解槽的高安培表电流会产生强磁场，这会在熔融铝液层中感生环流而导致电效率减降和熔融铝与电解质的“逆反应”问题。此磁场还会改变熔融铝液层与阳极间在不等距离处的深度。金属液层的运动加剧，有时会猛烈地搅拌此熔液液层而产生涡流，导致局部短路。

金属液层深度的变化限制了阴极与阳极间隙的减短，使电流效率损失。电功率耗费给位于阳极与阴极块之间的电解质。熔融铝金属液层的移动也影响到碳阴极块的不均匀磨损而会加速电解槽的损坏。

金属液层的湍流也会加强阴极产物的“逆反应”或再氧化，从而降低电解槽效率。金属液层的湍流加速了阴极底衬通过冰晶石的磨损与渗透而发生的变形与变质。

在当前的普通阴极中，钢阴极导电棒从外部母线通过电解槽的各侧进入碳阴极块。这些钢阴极导电棒由铸铁、碳粘结剂或夯实的碳质糊剂装附到阴极块上，用以促进碳阴极块与钢阴极导电棒的接触。

电流通过铝液层与碳阴极的流动依循最小电阻路径。在普通阴极导电棒中的这种电阻正比于电流通路从电流进入阴极导电棒这一点处至最

近的外部母线处的长度。电流通路在其起始于阴极导电棒接近外部母线处的较低电阻促使电流在流过熔融铝液层与碳阳极块的方向上弯曲。此电流的水平分量与磁场的垂直分量相互作用，对电解槽的工作效率有不利影响。

现有的 Hall - Heroult 电解槽的阴极导电棒局限于轧制的或浇铸的软钢材。电解液的高温与浸蚀性化学性质相结合，形成了严苛的工作环境。钢材的高熔点和低成本补偿了它的较差的导电性。作为比较，可供选用的金属如铜或银具有很高的电导率，但是熔点低和成本高。本发明的设备与工艺中采用了铜，因为铜在电导率、熔点与成本三方面提供了较理想的组合。其他的高导电性材料也可根据其相对于铝的熔炼工艺在电导率、熔点和成本三者的组合结果来使用。

钢的电导率相对于铝金属液层低到使得导电棒最接近电解槽这一侧的外三分之一部分承载大部分的负荷，从而在各阴极块内形成极不均匀的阴极电流分布。但由于普通的无烟煤质阴极所具有的化学性质、物理性质特别是电性质，钢的较差的导电性至今未表现为限制工艺过程的严重因素。

普通的阴极含有 100%的煤气煅烧的无烟煤(GCA)或 100%的电煅烧的无烟煤(ECA)。这些阴极块具有较弱的耐热震性。这样的阴极块在电解条件下，即在阴极电流、还原的钠与溶解的铝的影响下，会不良地润胀。它们具有较差的导电性(相对于石墨)，而就其优点而论，它们的侵蚀性或磨损性低(与石墨相比)。

为了克服 100%无烟煤阴极的缺点，阴极的制造厂家在阴极块的原料混合料中增大了石墨的比例。至少 30%的石墨看来足以避免热震开裂并能在大多数情形下提供较好的电性质与抗钠特性。若是增加到 100%的石墨集料或是增加到在 2000 ~ 3000℃石墨化的 100%焦碳集料，则能形成极好的作业与生产条件。

随着石墨含量或石墨化程度的增加，阴极块的侵蚀率或磨损率也增加。

为了追求规模经济，铝的熔炼槽随着工作安培数的增加已加大了它

的尺寸。随着工作安培数的增加，阴极中石墨的百分比也增加了，便于利用改进了的电性质和最大限度地提高其生产率。在许多情形下，这导致了开发石墨化的阴极块。

熔炼槽的作业最典型的是当铝金属由于接触钢导电棒被污染而终止。这样的情形会在下述情况下发生：当阴极到接缝的混合料接头处发生漏泄，当阴极块由于热效应或化学效应或综合的热化学效应，或是当阴极块的顶面侵蚀而暴露阴极导电棒时。在应用有较高石墨含量的和石墨化的阴极块时，主要的受损方式是由于阴极表面高度地局部侵蚀，最后使导电棒暴露于铝金属液中所致。

在许多的电解槽设计中，对于那些有较高石墨含量的阴极块，与 30% 石墨/ECA 块或 100%ECA 块相比，观察到存在有较高的峰值侵蚀率。

在快速磨损率、最大磨损区位置以及阴极电流分布不均匀性方面是有联系的。石墨含量较高的和石墨化的阴极具有较高的电导率，结果也就具有更不均匀的阴极电流分布型式从而也就有了更高的磨损率。

因此，需要发展和提供更均匀的阴极电流分布，得以降低阴极的磨损率、提高电解槽的寿命，这样就能实现石墨含量较高的和石墨化的阴极块的作业优点。

#### 发明内容

本发明的相关目的在于提供这样的电解还原槽设备以及方法，其中应用了新颖的阴极导电棒，此导电棒包括实心的铁类金属隔件，用于在槽中保持有控的热平衡。

本发明上述和其他的目的通过参考下面有关本发明的详细描述，当可获得更清楚的理解。

根据本发明，提供了用于生产铝的设备与方法。本发明的设备包括用于将溶解于熔融盐浴中的氧化铝还原为铝金属的电解槽。电流通过阳极与阴极间，通过此熔融盐浴 (bath) 而在阴极邻近产生铝金属。

此电解槽具有包括第一槽壁与第二槽壁的槽壁、阳极、与此阳极分开的无烟煤阴极块、在第一槽壁外的母线、将此母线与此阴极块连接的导电棒。此阴极块最好确定出一使导电棒置入其中的切口。槽壁确定

出包含熔融盐浴的室。

此导电棒包括铁类金属体和铜插头。这里所用的词“铁类金属”指铁与钢，包括软钢、低碳钢与不锈钢。所用的词“铜”包括铜与各种其他金属(包括银)的合金。为了实施本发明，这里最好采用较纯形式的至少含99%(重量)的铜，以便利用其优良的电导率。

上述导电棒具有的铁类金属体包括实心的铁类金属隔件，此隔件具有与母线连接的外端部和从第一槽壁向内分开的内端部。此隔件由于阻止了铜插头与母线间有过量的热传输而改进了热平衡。此铁类金属体还包括与隔件成整体同时界定一包含铜插头的腔部的铁类金属套。此腔在与隔件内端部相邻的外端与内部孔口间延伸。腔与铜插头可以有多边形或圆形的横剖面。这里宁可选用在具有圆形横剖面的腔部内的圆柱形铜插头。

阴极块中的切口最好包括用来将导电棒连接到最好是导电棒的阴极块上。这种材料可以是铸铁、碳质粘结剂或夯实的碳质糊剂，而最好是铸铁。

本发明的阴极组件是用于由电解法生产铝的。此阴极组件在含有熔融盐浴的室中向下与阳极相分开。电流从阳极通到阴极组件，将溶解于熔融盐浴中的氧化铝还原为在阴极块上淀积成液层的铝。导电棒中的铜插头与具有只含钢或其他铁类金属的导电棒在先有技术的电解槽中的情形相比，将电流分配得更均匀。此导电棒体中的铁类金属隔件与具有直接连到母线上的铜插头相比，减少了热损耗。

#### 附图说明

图1是铝生产用先有技术电解槽的示意性横剖图。

图2是本发明的生产铝用的电解槽的示意性横剖图。

图3是图2的电解槽中导电棒的示意图。

图4是图3中4-4线的横剖图。

图5是铝生产用先有技术电解槽的电流通路的示意图。

图6是本发明的生产铝用的电解槽中电流通路的示意图。

具体实施方式

本发明的设备与方法提供了能使水平电流减至最少同时能控制热损耗的新颖导电棒。本发明的这种新颖导电棒可以加入到具有标准碳阴极块的既有的铝生产槽中。

现在参看图 1, 其中示明的用于铝生产的先有技术电解槽具有一对普通的阴极导电棒 10。导电棒 10 具有矩形横剖面, 由软钢制成。电流经阳极 12 流入, 通过电解浴 14、熔融金属液层 (pad) 16, 然后流入碳阴极块 20。此电流通过阴极导电棒 10 带到槽外。如图 5 所示, 电流线 70 的分布不均, 更多地集中于趋向导电棒最接近外部母线(未图示)的端部。

现在参看图 2, 其中示明了本发明的电解槽 4。槽中包括第一槽壁 17 与第二槽壁 18。这两面槽壁限定出室 19, 室 19 的底与侧面衬以耐大砖 21, 室内包含熔融电解质 14。阴极块 10 有两个半宽度的阴极导电棒 30。各个导电棒 30 分别从槽壁 17、18 外的母线 46、48 延伸出, 向内朝向中心线 50。这两个导电棒 30 由在此槽的中间的间隙 58 分开, 间隙 58 中充填以可压缩的材料或一片碳件或填实的接缝混合料或是上述这类材料的混合物。此间隙 58 最好由这类材料的混合物充填。

阴极块 20 具有支承金属液层 12 的上表面 22 和限定出在块 20 的相对侧向端之间延伸的切口或沟 24 的下表面 23。钢导电棒 30 纳置于切口 24 中并由一层导电材料最好是铸铁固定于其中, 导电棒 30 连接到块 20 上。

参看图 2~4, 各个导电棒 30 所包括的铁类金属体包括界定出腔部 34 的实心隔件 32 与套 33。各隔件 32 具有与母线 46 连接的外端部 35 以及与此外端部 35 向内相分开的内端部 36。此内端部 36 最好在槽壁 17 之内, 如图 2 所示。

现在参看图 3 与 9, 于各导体棒 30 的内侧 37 开钻出腔部或切口 34。这些腔部 34 在具有约  $24\text{in}^2$  的横剖面面积的导电棒中和加工成具有约 1.628in 直径, 使得它们的横剖面积约为  $2.08\text{in}^2$ 。腔 34 定位于导电棒 30 内中央, 以使因加热和冷却的畸变减至最少。

包括有柱形杆的铜插头 40 置于各个腔部 34 中。铜插头的直径约  $1.625\pm 0.0025\text{in}$ , 使得其横剖面积约为  $2.07\text{in}^2$ 。为实施本发明, 最好采用

含约 99.95 ~ 99.99%(重量)铜的高电导率级的铜构成的铜插头。

在腔 34 与顶侧之间,于各导电棒内钻出一通风孔 44。通风孔 44 在铜插头 40 定位到腔 34 内时将腔部 34 中的空气排出。在插头 40 就位后,通风口 44 即以耐火泥充填。要是在腔部 34 中形成有足以驱除此耐火泥的压力,则此通风孔 44 便提供了释除此压力的通道。

腔部 34 中设有钢塞 45 以密封铜插头 40。塞 45 与插头 40 间的小空隙 47 允许在加热到工作温度时膨胀。塞 45 焊接到导电棒 20 的内侧 37。在特别最佳的实施例中,此空隙 47 能提供约 0.65in 的膨胀容差而钢塞 45 具有约 1 英寸的长度。

本发明的设备与方法改变了电流在 Hall - Heroult 槽中的方向,以减少或消除由于不均匀的电流与水平电流造成的效率下降。

阴极电路通路与电流分布受到铝金属液层与阴极组件的电导率差的影响。由于高的电导率差有利于铝液层,最佳的电流通路将是旁侧通过此金属铝液层,朝向槽的侧壁,然后向下通过阴极块到导电棒。

图 5 中示明具有阴极 12、熔融金属液层 16、阴极块 20 与导电棒 20 的先有技术槽 2 中的电流梯度 70。最高的电流密度直接出现于接近阴极块 20 的外端 72 的钢导电棒 10 的上方。最低的电流分布则见于导电棒 10 内端部相邻的阴极块 20 的中间。于阴极块 20 上观察到的局部磨损样式在电流密度最高处最深。

阴极块 20 的电导率的增加反映了石墨含量较高的或石墨化的阴极块的变化,阴极电流分布 70 变得更集中于块 20 的外端 72。在安培数不变的条件,局部磨损率将随着石墨含量的增加在块 20 的外端 72 的附近加大,而对于石墨化的阴极块则将增至最大。

本发明的设备与方法使 Hall - Hercoult 槽中的电流改向,以减少因不均匀的与水平的电流造成的效率降低。如图 6 所示,槽 2 包括阳极 12、熔融金属液层 16、阴极块 20 以及具有铜插头 40 的导电棒 30。电流梯度 90 从阳极 12 延伸到金属液层 16 同时沿着阴极块 20 的整个长度。这一电流分布型式 90 比图 5 所示的电流梯度型式 70 更均匀。铜插头 40 通过减少电导率差有利于铝金属液层而提高了导电棒 30 的电导率,以使电流在

整个阴极块 20 上分布得更均匀。

在槽的工作温度下，铝的电导率为  $3470000(\text{ohm} - \text{m})^{-1}$  而钢的电导率为  $877800(\text{ohm} - \text{m})^{-1}$ 。铜的电导率为  $1628000(\text{ohm} - \text{m})^{-1}$ ，大大地高于钢和铝的。业已观察到将铜插头设于导电棒中能显著地加大其整体的电导率，相当于降低了导体棒的整体电阻。结果能使阴极上的电流分布得较均匀而减少了局部磨损率。

此阴极的电压降也减少了，最高可减少 50mv。这一电压降可用来在不变的生产率下降低电功率的费用，或在恒定的功率下提高铝的产量。

上述导电棒的端部穿过槽的侧壁起到散热片或热沉作用。将铜插头并入到导电棒内会加大槽的热损耗。因此，必须仔细地控制铜插头的长度来避免过多的热损耗和有害于槽的寿命。铜插头最好不要伸到槽的侧壁 17、18 之外。在此已将铜插头的导电棒与槽中其他的绝缘材料组合，来补偿铜插头造成的外加的热损耗。

上面已经描述了本发明的目前属最佳的实施例，但应认识到在不背离下述权利要求书的精神与范围内，本发明是可以由其他形式来具体实施的。

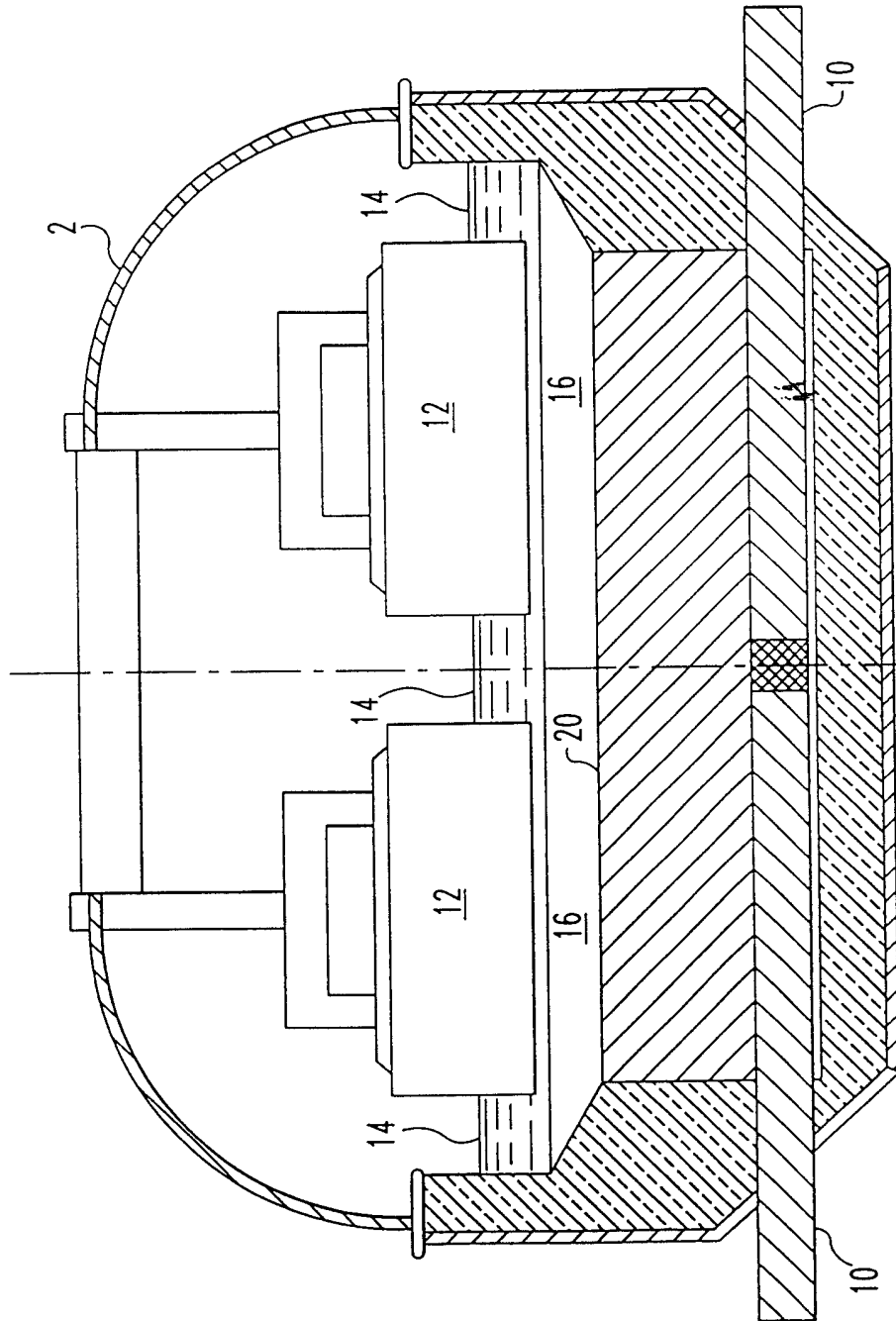


图1

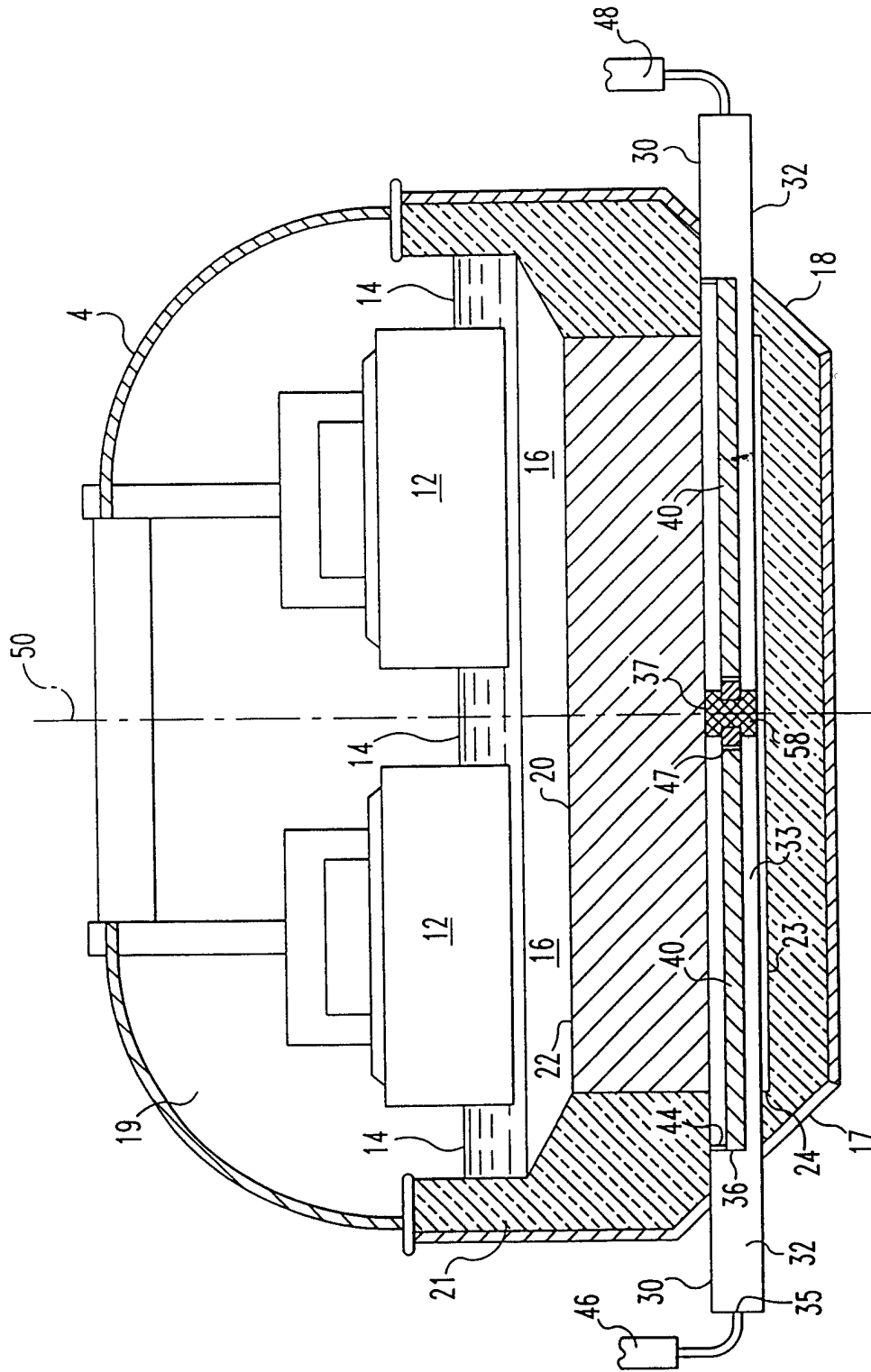
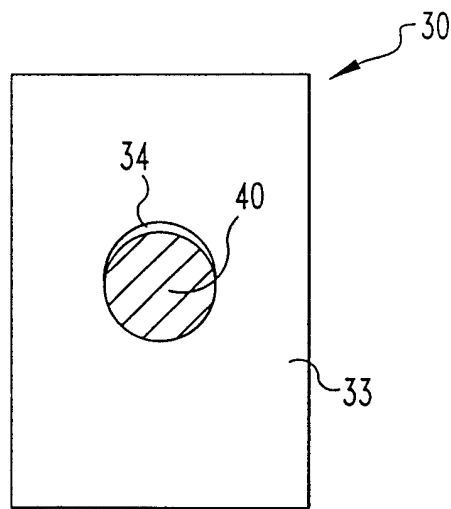
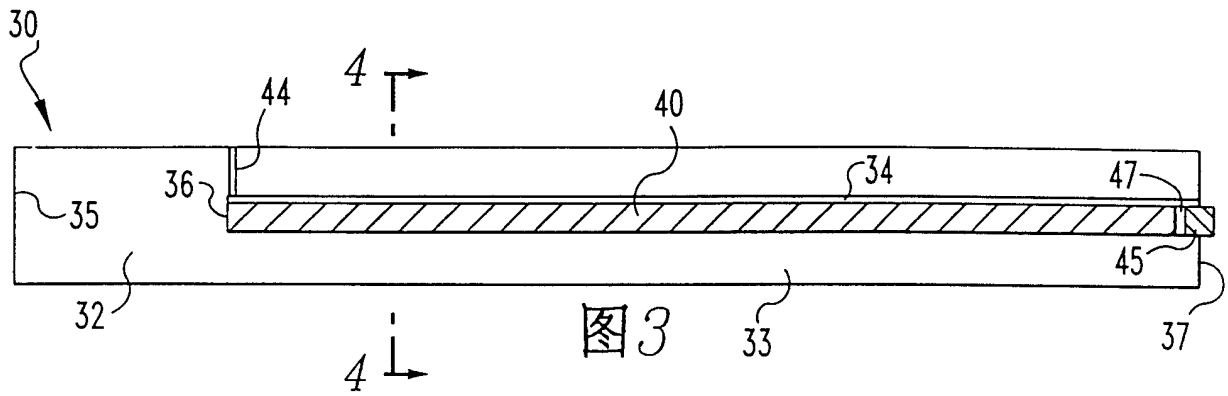


图2



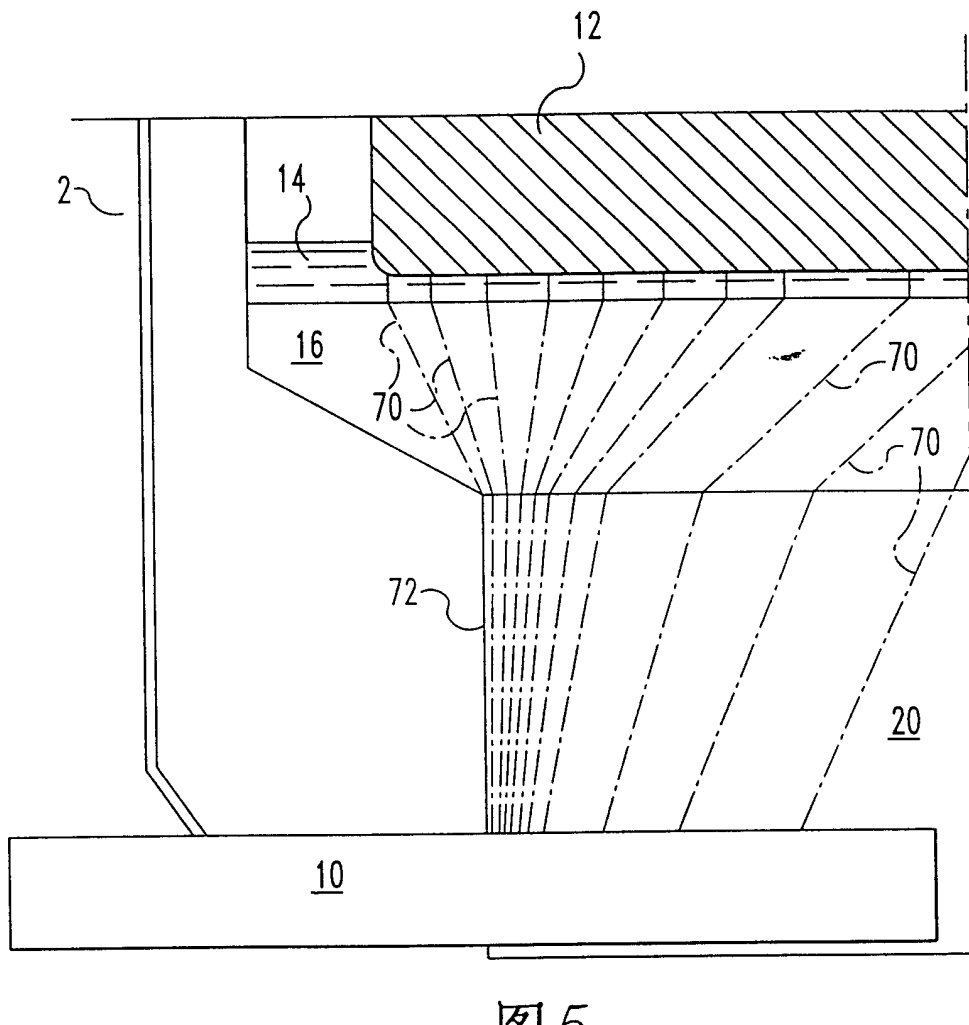


图5

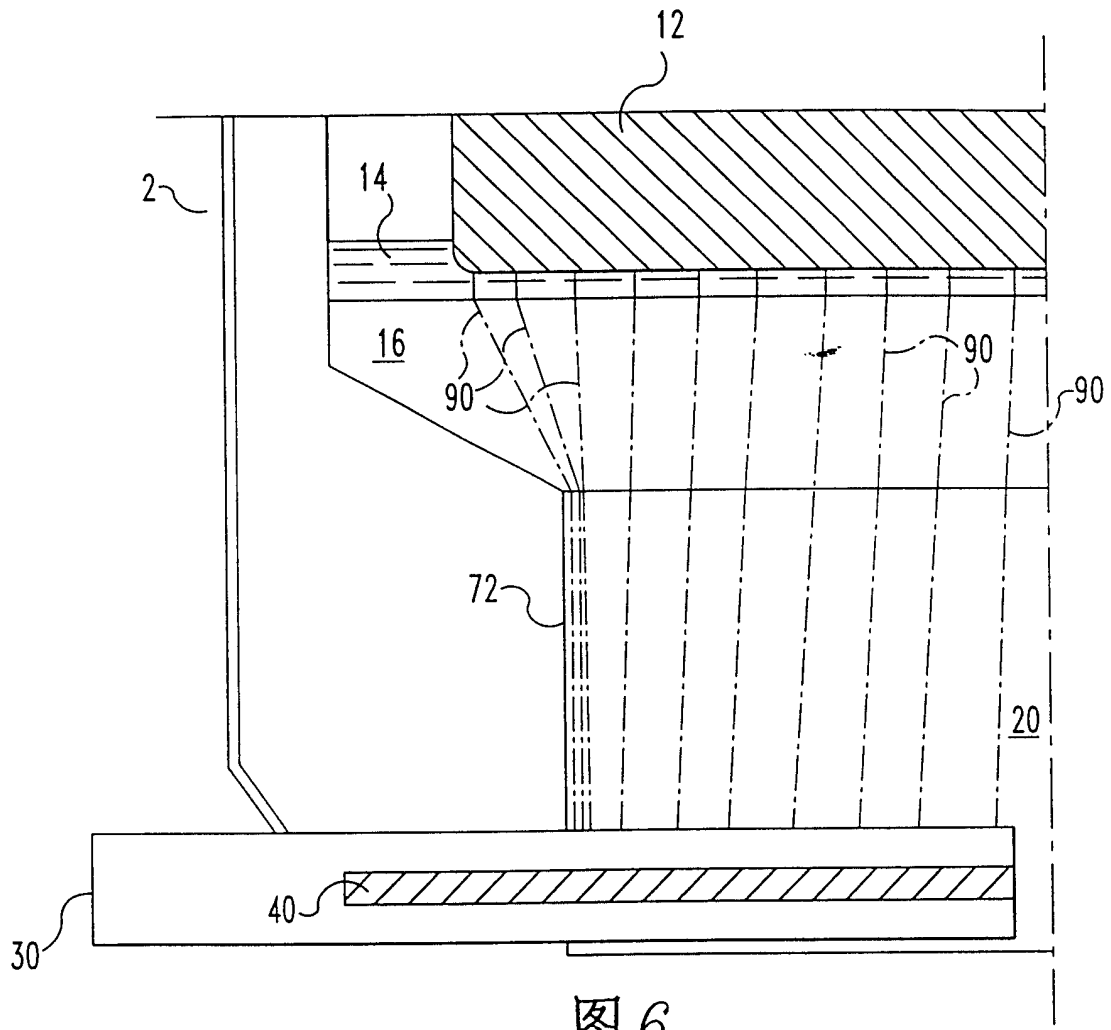


图 6