

[19]中华人民共和国专利局

[51]Int.Cl⁶



[12] 发明专利说明书

C22B 21/06

C22B 9/00

F27D 11/02

[21] ZL 专利号 92102931.4

[45]授权公告日 1997年1月15日

[11] 授权公告号 CN 1033823C

[22]申请日 92.4.24 [24]颁证日 96.10.19

[21]申请号 92102931.4

[30]优先权

[32]91.4.26 [33]US[31]691,830

[73]专利权人 普拉塞尔技术有限公司

地址 美国康涅狄格州

[72]发明人 J·F·佩尔顿

[74]专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 吴大建

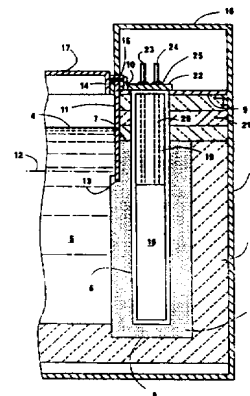
审查员 徐 川

权利要求书 3 页 说明书 11 页 附图页数 3 页

[54]发明名称 用于铝精炼系统的改进的加热器装置

[57]摘要

使用一个支承板——和容纳和/或精炼铝的容器连在一起——与设置在内装加热元件组件的石墨块内壁上的耐火材料板组合在一起，用来容纳和密封加热元件组件使之不与空气接触，不需要将加热器封闭在金属加热元件容器中。



权利要求书

1. 一种适用于在精炼操作或精炼操作以外的过程中容纳熔融铝的容器，它包括：(1)一个具有不能渗透过熔融铝的底部和侧壁的绝热外壳；(2)在该外壳内至少一个侧壁上的石墨块炉衬，所述的石墨块延伸到该容器内予定的熔体液面位置以上，该石墨块设置成与所述容器内的熔融铝接触，石墨块内有一个开孔从其顶端向底部延伸，但未到达底部；以及(3)设置在上述石墨块内开孔中的加热元件组件，该加热元件组件被支撑在所述的开孔内，与石墨块没有电接触，其特征在于对该设备的改进包括：

(a) 连接到上述外壳上并向所述容器内延伸到石墨块上方位置的支承装置；

(b) 加热元件组件安装板，它紧固并封接到上述支承装置上，板上带有开孔用于将电线穿过其中使之定位；

(c) 适用于连接到加热元件组件的加热部分上的电线，所述电线是从加热器组件安装板的上面延伸过来的；

(d) 适合于在安放电线时防止空气通过所述电线与所述开孔的壁之间的环形间隙的密封装置；

(e) 为了保护上述石墨块不与容器内停机闲置时的熔体液面上方气相中的氧接触的设置石墨块内表面上的垂直延伸的耐火材料板，该耐火材料板在水平方向上基本上延伸到上述外壳的二个侧壁，这一耐火材料板的上端被紧固到上述支承板上。

2. 根据权利要求1所述的容器，其中，所述的电线包括二根单独

的导线，以及所述加热组件安装板上的开孔包括为上述每一根电线设立的彼此独立的开孔。

3. 根据权利要求 2 所述的容器，包括施加到所述导线上的下部套环，该套环位于加热组件安装板下面，被设置成与所述密封装置的下表面和加热元件组件的最上面和绝缘部分相接触，这个下部套环中带有开孔，用于穿过其中安放所述的导线。

4. 根据权利要求 3 所述的容器，包括设置在加热元件组件安装板上面以便与所述密封装置上表面接触的上部套环，该上部套环内有开孔用于穿过其中安放所述的导线。

5. 根据权利要求 4 所述的容器，包括在上部套环的上面、连接到所述导线上的电气接插件片。

6. 根据权利要求 5 所述的容器，其中所述的电气接插件片被连接在一个略微压缩所述密封装置的位置上。

7. 根据权利要求 2 所述的容器，其中所述密封装置由高温高弹体的橡胶密封圈构成。

8. 根据权利要求 1 所述的容器，其中，所述耐火材料板的顶部被紧固在上述支承装置和构成上述外壳一部分的金属板之间，该耐火材料板的底部延伸到容器内设计予定的较低的熔体停机闲置时液面位置以下。

9. 根据权利要求 8 所述的容器，其中所述耐火材料板的下端设置在所述石墨块内的凹槽中。

10. 根据权利要求 1 所述的容器，包括设置在所述支承装置和所述石墨块的顶端之间并且其中带有开孔的绝热装置。

11. 根据权利要求 8 所述的容器，其中所述的支承装置的最里端带有一个向上伸出的法兰部分，所述的法兰和构成所述外壳一部分的金

属板与位于它们之间的所述耐火材料板的上端紧固在一起。

1 2 . 根据权利要求 1 所述的容器，包括用于将气体喷入容器内熔融铝中的气体分布装置。

1 3 . 根据权利要求 1 0 所述的容器，包括设置在所述开孔内表面处的套管，以便在将加热器组件放入石墨块内的开孔中或从中取出时保护所述的绝热装置。

1 4 . 根据权利要求 1 3 所述的容器，包括用于将所述套管固定到所述支承装置上的法兰装置。

说明书

用于铝精炼系统的改进的加热器装置

本发明涉及用于容纳和精炼熔融铝的装置，尤其是涉及在这类装置中对所使用的加热元件的保护。

人们已经发现，在精炼铝时使用外部加热的、耐火材料衬里的铸铁桶作为精炼容器是不利的，因为这种桶的寿命有限并且在某种程度上是无法预料的。这种不希望有的情况是由于所述的铸铁桶因开裂、凸胀、氯化物腐蚀或冲刷造成破坏而引起的。此外，设计与这些铸铁桶相配的约束导致了所采用的结构配置很难清理，这对于它们在工业生产中的应用进一步带来不利的因素。

为了克服这些缺点，有人曾设计了一种由内衬耐火材料的容器构成的精炼系统，所述的容器带有若干个自该精炼容器盖上悬挂下来的垂直管状浸入式加热器，例如内部带有螺旋式电阻加热元件的碳化硅管。在这种情况下，人们发现上述加热器的使用寿命有限，而且实际上很难更换。在加热器因碳化硅管破裂而失效时，管子的破裂碎片常常引起用于将气体喷入容器内熔融铝中的旋转喷嘴发生破裂。另外，这种系统很难清理，这是因为在相邻的加热器管之间以及在加热器管与容器壁之间有许多凹槽，其中聚集了许多废渣，很难用简便的方法将它们清除出去。

由于存在这些问题，有人研制出一种用于精炼铝或其它熔融金属的改进了的装置。这种装置由一个全耐火材料系统构成，其中，两个相对的侧壁各自由一个石墨块组成，在石墨块内的竖直孔中设有电加热器，

所述孔的顶部有开口,其底部是封闭的。在Szekely美国专利No.4040610中公布了这·系统的各种其它技术特征。因此,这个系统设有一个内部加热源,同时克服了使用浸入式加热器所带来的缺点。人们发现,加热器寿命延长了,腐蚀减少了,并且这一系统便于维修。为了容纳处于熔融状态的铝,这一系统包含有一个适合于容纳处于熔融态的铝的容器,它包括一个不能透过熔融金属的绝热炉壳,该炉壳内部处在熔体表面以下那部分的、由石墨块构成的炉衬,以及至少一个设置在一个或多个石墨块中的加热装置。为了用于精炼铝,这一系统至少还包括有一个设置在容器中的旋转气体分布装置以及熔融金属和气体的进口及出口装置。

采用这种石墨加热器块的耐火材料系统被认为是这一技术领域中的合乎需要的改进,该系统在工业上铝的精炼生产中一直得到应用。尽管如此,仍然需要进一步改进这个系统,克服在工业生产中遇到的实际操作问题,以扩大其适用范围。工业生产中遇到的主要问题是,在通常使用的操作条件下加热器的寿命比较短。加热器失效的一种方式是由于石墨加热器块氧化而引起的,通常氧化是从其顶部开始的。石墨块的氧化从顶部开始,然后向下发展到精炼或盛放用的容器内的金属液面位置以下,在这过程中熔融的铝能够穿过氧化了的石墨块流入加热器空腔中,使设置在该空腔内的电热元件短路。此外,在工艺气体中使用氯的情况下,熔融铝中产生的液体氯化物有可能通过石墨块,积聚在加热器空腔的底部,引起该空腔内电热元件短路。另外还发现,在铝的精炼过程中,由于液态或气态氯化物从精炼室穿过石墨块中相互连通的孔隙进入该石墨块内的加热器区域,结果使加热器和加热器接线发生腐蚀。因此,克服这些造成加热器寿命较短的原因就构成了研制开发容纳和精炼铝的容器的一个显著的技术进步。

在Pelton的美国专利 4 7 1 7 1 2 6 中公布了一种适用于克服加热器寿命短这一缺点的方法，该专利中所示的耐火材料系统加热器装置是若干个部件的组合，这些部件用来：(1)保护石墨加热器块不发生氧化；(2)保护设置在石墨块中的加热器不受氟化物侵蚀。在加热器的区域中，这二个任务是使用金属加热器容器件 1 2（下文中称之为加热器罐）来完成的。在Pelton专利的方法中，这个加热器罐封接到支承板 9 上。设置在加热器罐中的加热器暴露于大气中，空气可以自由地进入加热器罐的内部。在这种装置中，加热器罐起到双重屏障作用，即(1)防止加热器罐内加热区中的空气与周围的石墨块反应而使之氧化，(2)防止渗透到石墨块中的氟和氟化物接触并腐蚀石墨块中的加热器。

尽管Pelton专利中公布的加热器结构可以成功地用来防止石墨块氧化并防止氟化物侵蚀其中所设置的加热器，但是仍然不断地有人提出对铝精炼技术进一步改进的要求。说得更具体一些，有一种这类要求是，简化容纳和精炼铝的系统、降低成本以及提高其性能。就全耐火材料系统及其中的加热器的保护而言，加热器罐意味着这一系统增加了一个昂贵的部件。此外，这种加热器罐的使用虽然适用于预期的目的，但它往往限制了在石墨块中可以有效地建立的加热功率。

因此，本发明的一个目的是，提供一种用于容纳和精炼铝的改进的电加热的装置。

本发明的另一目的是，提供一种简化了的装置用于将加热元件安置在容纳和精炼铝的容器的石墨加热器块中。

本发明还有一个目的是，提供一种容纳和精炼铝的容器，在该容器中无须使用金属加热元件罐就可以保护内部设有电加热元件的石墨块不发生氧化并保护上述加热元件不受氟化物侵蚀。

考虑到这些目的以及其它的目的，下文中将对本发明作详细的描述，在所附的权利要求书中特别指出了本发明的一些新的技术特征。

加热元件组件本身被封接到位于石墨块上方的盖板上，石墨块内设置有加热元件。

在容器内铝熔体液面以上的石墨块内表面上，设置了一个耐火材料板。采用这种相互关联的部件组合结构，可以有效地防止石墨块氧化及氟化物对加热元件的侵蚀。

下面参照相应的附图详细地说明本发明。

在附图中：

图 1 是本发明装置的剖面示意图；

图 2 是本发明装置的一种方案的剖面详细示意图；

图 3 是本发明装置的另一方案的剖面详细示意图；

本发明的目的是通过将用于保护石墨加热器块不氧化、石墨块内的加热元件不受氟化物侵蚀的各部件按上述相互关联组合在一起而实现的，无须使用上述Pelton的美国专利 4 7 1 7 1 2 6 中提供的金属加热元件罐。本发明归结于加热器组件与支承板严密地封接，所述支承板连接到容纳和精炼熔融铝的容器的绝热外壳上并向容器内延伸到石墨块的上方，石墨块内的开孔中设置有加热器组件，从而防止空气从这个位置进入石墨块内的开孔中。

在加热器组件中常用的加热元件金属丝是Nichrome V™金属，它是一种以重量百分数计含 8 0 % Ni和 2 0 % Cr的合金。将这种导电的加热元件金属丝置于大气气氛中并与氟化物蒸汽接触时，这些金属丝往往产生严重腐蚀。业已发现，该合金之所以发生快速氧化是由于这些氟化物破坏了金属丝表面上存在的、通常起保护作用的氧化物膜。当然，如

果没有氧存在，加热元件金属丝也就不会发生氧化了。单纯的氯能侵蚀金属丝，形成易挥发的金属氯化物。但是，在铝精炼生产应用中，人们发现，本发明的装置在操作过程中，单纯的氯并未进入石墨块内的加热器开孔中，这是因为精炼时使用的氯在精炼区中迅速反应，生成金属氯化物。这些氯化物在没有氧的情况下一般不会侵蚀加热元件材料。

可以理解，本发明是关于一种在铝的精炼或精炼以外的其它工艺过程中用于容纳熔融铝的容器，该容器包括一个底部和侧壁不能透过熔融铝的绝热外壳并且在该外壳内至少一个侧壁上安装有石墨块炉衬。所述的石墨块伸展到容器内予定的熔体液面上方并设置成与容器内的熔融铝接触。石墨块内有一个开孔，这一开孔从石墨块的顶端向着其底部延伸但未到达底部。在石墨块内的开孔中设置了一个电加热器，即电阻加热器，该加热器被支撑在上述开孔中，与石墨块没有电接触。本发明对该设备装置的改进还包括：

(a) 连接到上述外壳上并向所述容器内延伸到石墨块上方位置的支承装置；

(b) 加热元件组件安装板，它紧固并封接到上述支承装置上，板上带有开孔用于将电线穿过其中使之定位；

(c) 适用于连接到加热元件组件的加热部分上的电线，所述电线是从加热器组件安装板的上面延伸过来的；

(d) 适合于在安放电线时防止空气通过所述电线与所述开孔的壁之间的环形间隙的密封装置；

(e) 为了保护上述石墨块不与容器内空载闲置的熔体液面上方气相中的氧接触而设置在石墨块内表面上的垂直延伸的耐火材料板，该耐火材料板在水平方向上基本上延伸到上述外壳的二个侧壁，这一耐火材料

板的上端被紧固到上述支承板上，从而有效地防止了由于空气和氯化物蒸气的复合作用而引起的石墨块氧化和加热元件的腐蚀。正是这样一种容器和结构在前面所述的现有技术中一般地说是令人满意的，但有一点除外，即在工业生产中所遇到的操作条件下及不存在上述Pelton专利中所述部件组合包括使用加热器罐的情况下，加热器的工作寿命比较短。

参看附图，图1描绘了所使用的部件组合结构，它不需要加热器罐就可以延长加热器的寿命，保护加热元件在有空气存在的情况下不受氯化物侵蚀并保护石墨块不氧化。图中，数字1代表炉壳，在其底部和侧壁上固定有耐火材料绝热层2，熔融的铝不能透过这一绝热层。在这样绝热的炉壳的至少一个侧壁上，设置了石墨块3，它延伸到容器内予定的熔体液面位置以上。石墨块3被设置成在容纳或精炼过程中与容器内的铝熔体5相接触。石墨块3内有一个开孔，这一开孔从石墨块的顶端7向其底部8延伸，但未到达底部。

在本发明中，支承板装置9被固定并封接到炉壳1上，并且向容器内延伸到石墨块3的顶端7上方位置上。在该图所示的方案中，支承板9的最里端配接有一个法兰10，以利于将该支承板9与本发明的其它部件连接到一起。

本发明还包括设置在石墨块3内表面上的耐火材料板11。这一耐火材料板垂直延伸，保护石墨块3不与容器内熔融铝5液面上方气相中的氧接触。为此目的，耐火材料板11的下端不仅延伸到予定的熔融铝液面位置4以下，而且还进一步低于容器内予定的停机闲置时的液面位置12。如图所示，耐火材料板的下端十分方便地定位在石墨块3内的凹槽13中。可以理解，这一耐火材料板11沿水平方向延伸基本上到达炉壳1的两端侧壁，以便将石墨块3整个地保护起来。

如图所示，耐火材料板 1 1 的上端设置在支承板的法兰 1 0 与板 1 4 之间并紧固在那里，板 1 4 构成了容器外壳整体的一部分。使用螺栓可以很方便地将耐火材料板 1 1 紧固到支承板 9 和容器外壳上。

在本发明的一个十分便利的方案中，容器的盖包括电气部分的封盖 6 和容器内铝熔体 5 上方的独立的盖 1 7。如图所示，电气部分的盖 1 6 十分方便地连接到支承板 9 的法兰 1 0 和炉壳 1 上，炉盖 1 7 连接到炉壳板 1 4 上并与之密封。本专业的普通技术人员都能理解，炉盖 1 7 也可以作为常规气体分布装置（图中未示）的支座，所述气体分布装置用来在精炼工艺过程中将气体导入熔融的铝中。

数字 1 8 表示加热元件组件的加热部分，如图所示，这一部分设置在石墨块 3 内的开孔 6 中，供容纳和精炼铝的使用。在所述加热部分 1 8 的上面设置有加热元件组件的绝缘部分 1 9，该绝缘部分 1 9 以绝缘材料圆环的形式，一个摞在另一个上面，一直延伸到该加热元件组件的顶部。在绝缘部分 1 9 中设有开孔 2 0，用于使电线穿过其中与加热部分 1 8 连接。不言而喻，支承板 9 上开有一个孔，以便于加热元件组件即加热部分 1 8 和绝缘部分 1 9 向下穿过其中进入容器内的工作位置。最好是在支承板 9 下面和石墨块 3 上面附加一个绝热层 2 1 并且在其它地方例如在盖 1 7 下面也有这样的绝热层。

在支承板 9 上面设有加热器组件安装板 2 2 并与之密封连接。电线 2 3 和 2 4 从加热元件安装板 2 2 上面穿过该板中的开孔伸入加热元件组件的绝缘部分 1 9，以便与该组件的加热部分 1 8 连接。采用适当的密封措施 2 5 将电线 2 3 和 2 4 密封住，使大气中的空气不能穿过安装板上的开孔与其中所设置用来通过绝缘部分 1 9 内的空间连到加热元件组件加热部分 1 8 上的电线之间的间隙。

为了本发明的密封目的，例如加热组件安装板 2 2 与支承板 9 的密封以及支承板 9 与外壳 1 的密封，可以使用适宜的高温硅密封胶例如道康宁（Dow-Corning）公司生产的 R T V 密封胶或其它这类商品密封胶组合物。

图 2 示出了无须使用加热器罐即可将加热元件组件密封连接到加热器盖部分上的另一种方案。如图所示，耐火材料绝热层 2 1 的最上部表面上设置有支承板 9。加热元件组件安装板 2 2 由螺栓 2 6 紧固、封接到支承板 9 上。

加热器组件中包括圆柱形导线 2 3 和 2 4，它们适合于穿过安装板 2 2 上的孔 2 7 和 2 8 与设在石墨加热器块（图中未示）中的加热元件组件的加热部分连接。此外还可以看出，圆柱形导线 2 3 和 2 4 适宜于分别穿过加热元件组件的绝缘部分 1 9 中与上述孔共轴的孔道 2 9 和 3 0。加热器导线 2 3 和 2 4 最好带有下部金属套环 3 1 和 3 2，这两个套环通过焊缝 3 3 和 3 4 焊接到所述的导线上。

为了本发明的密封目的，分别将高温高弹体例如硅橡胶制成的橡胶密封圈 3 5 和 3 6 插入安装板 2 2 中的孔 2 7 和 2 8 内。向焊有套环 3 1 和 3 2 的圆柱导线 2 3 和 2 4 施压使之穿过上述橡胶密封圈 3 5 和 3 6 中的孔，直至下部套环 3 1 和 3 2 通过所述的孔，压靠在橡胶密封圈的下表面上。然后分别将上部套环 3 7 和 3 8 安放到圆柱形导线 2 3 和 2 4 上位于橡胶密封圈的上面，最好是将这二个套环向下压一点，使橡胶密封圈略微有些压缩。然后通过焊缝 4 1 和 4 2 分别将电气接插件杆或片 3 9 和 4 0 焊接到圆柱导线 2 3 和 2 4 上，所述的杆靠接在上部套环 3 7 和 3 8 的上表面上定位。

以这种方式密封住加热器组件时，可以有效地阻止空气进入位于加

热器组件的石墨加热器块区域上方的盖板 9 下面。因此，即使所述加热部分接触到穿过石墨加热器块进来的氯化物蒸气从而引起加热元件上通常起保护作用的氧化物膜破坏，在相当长的时间里加热器组件的加热部分仍然不会发生氧化。

可以理解，本发明的有效密封目的依赖于能够得到在容纳和精炼铝的操作条件下可以将所述部件密封起来的材料。在一台使用上文所述加热器金属丝材料并且加热系统以满负荷工作的常规容器中，测定了在导线穿过安装板的区域中的温度，结果发现，上述区域的工作温度是 140 °C，这一温度完全处于适用于制造橡胶密封圈的高温高弹体的现有低压缩变定商品硅橡胶的最高使用温度 260 °C 的范围以内。

为了便于插入和取出加热元件并防止插入加热元件时穿过的绝热层发生损坏，最好是设置一个如图 3 中所示的嵌入套管。带有绝热层 2 1 和位于其上面的支承板 9 的石墨加热器块 3 以及加热器组件安装板 2 2 和加热器组件的其余部分与图 2 所示的方案相同。嵌入的套管 4 3 和通过焊缝 4 5 焊到它上面的法兰 4 4 被紧固、封接到支承板 9 上。在法兰 4 4 上安装并密封连接安装板 2 2，加热器就固定、封接在该安装板上。嵌入的套管 4 3 向下延伸，为绝热层 2 1——最好是在其整个厚度上——提供了一个内部防护罩。如图 3 中所示，嵌入的套管 4 3 向下延伸到低于石墨块 3 最上端的位置，定位在石墨块上的壁龛 4 7 中。将加热器组件插入容器中或是将其从容器中取出时，嵌入的套管 4 3 有助于使加热器组件移动通过所述的绝热区而不使加热器与绝热层 2 1 的内壁接触，从而在操作期间或更换时插入或取出加热器的过程中保护所述的绝热层不被损坏。

在本发明中排除了加热器罐，其优点有二个。最明显的优点如上文

所述的那样，即省去了加热器罐的相当高的制造成本。更重要的优点是，在实施本发明的过程中可以使用较高功率的加热器。在确定的最高加热器金属丝温度的情况下，可以提供更多的热能，这是因为去掉了上述加热器罐因而排除了加热器与石墨块之间的辐射屏障的缘故。这样，只有一次辐射传热即由加热器到石墨块，而不是二次这样的辐射传热，即从加热器到加热器罐，再从加热器罐到石墨块。

可以理解，假如在长时间的操作过程中，在石墨块内的加热器孔道底部聚集了许多液体氯化物，那么这些氯化物将会接触到加热器并使之短路，因为上述氯化物是导电的。本专业的普通技术人员都可以理解，本发明是不能在这种情况下应用的。这种不希望有的情况在大多数铝精炼工艺过程中是不可能发生的，不过，如果为了除去碱金属而使用大量的氯，特别是在长时间的连续铸造工艺过程中，这种情况还是很有可能发生的。

本专业的普通技术人员都知道，在不脱离所附权利要求中规定的本发明范围的情况下，可以对本发明的细节作各种变更和改变。虽然上文中指出了一种特定的镍-铬合金特别适合用作加热元件材料，但其它镍基合金或其它特定的高温合金包括铁基合金也是可以使用的。前已述及，在加热器的表面上这些材料形成了一层氧化物保护层，当氯化物蒸气破坏了这层通常起保护作用的氧化物膜从而使得快速氧化有可能发生时，由于本发明的密封措施使氧不能到达加热元件，防止这种氧化的发生，因而避免了严重的腐蚀，否则的话，在有空气存在的情况下与氯化物蒸气接触时，在加热器金属丝上将会发生这种严重腐蚀。

可以理解，对于精炼作业来说，所使用的气体分布装置可以包括在这一技术领域中任何已知的、便于在确定用途中使用的这类装置。为此

目的，通常使用旋转气体分布装置，例如使用轴驱动的旋转转轮。

在本发明的装置中可以使用任何方便的结构材料，但是应当指出，所述的耐火材料板最好是可以以便于在本发明中使用的板材形式购得的、陶瓷纤维增强的结构氧化铝。市场上可以买到的这种板材是由Zircar Products, Inc. 公司销售的100型号的ZIRCAR™耐火材料板，这种板在高达 2 4 0 0 °F 的温度下仍具有有用的性能，它含有约 7 5 % 的氧化铝 ($Al_2 O_3$)、1 6 % 的二氧化硅和 9 % 的其它金属氧化物，在高温塑料的工作温度范围内它具有非常合乎需要的抗弯强度和耐压强度并可以保持其强度和有用性达到远远超过普通塑料最高使用温度的温度水平。

应当指出，在更换加热元件时，可以允许空气短间接触加热器块和加热元件。由于在给定的功率水平的情况下所使用的加热器温度比较低，预计加热器的寿命会比较长，从而减少了需要更换加热器的次数。在实施本发明时，预计在用于容纳和精炼铝的耐火材料系统的一般使用寿命期限内可以不必更换加热元件，这种预测并没有什么不合理的。

本发明有助于推动铝精炼技术向前发展。在使用非常合乎需要的石墨加热器块的情况下，本发明以方便、有效的方式为设置在石墨块中的加热器提供了保护，从而将这种非常合乎需要的石墨加热器块方法提高到实用的工业化铝精炼作业的水平上。

图 3

