



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 88103493.2

[51]Int.Cl⁵

G21C 13/10

[45]授权公告日 1994 年 1 月 19 日

[24]颁证日 93.8.22

[21]申请号 88103493.2

[22]申请日 88.6.11

[30]优先权

[32]87.6.11 [33]FR[31]8708748

[73]专利权人 SERS-萨氏焊条和耐火材料公司

地址 法国库伯瓦

[72]发明人 丹尼尔·杜马斯 乔吉斯·洪纳特

[74]专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利代

G21C 9/00

理部

代理人 曾祥凌

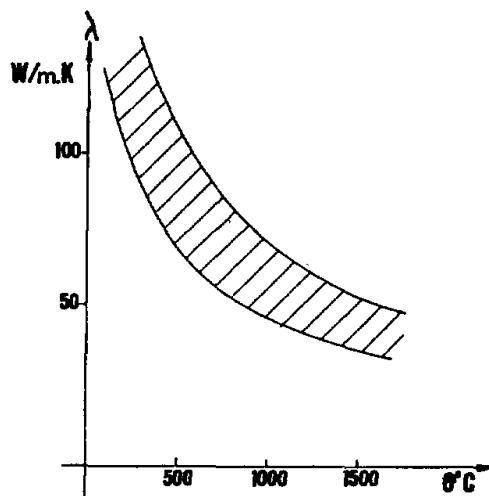
说明书页数:

附图页数:

[54]发明名称 阻止熔化的核反应堆堆芯渗入到土壤中的装置

[57]摘要

本发明涉及了一种用来阻止核反应堆熔化后的熔化物渗入到土壤中的装置，该反应堆由地基上的混凝土底板来支撑。嵌入到底板 4 中的这一装置具有一个用耐高温材料构成的保存池 6，同熔化物相接触的保存池上部的覆盖层 10 由一种对熔化物组分具有惰性化学的性能的耐高温材料构成，保存池下部的凸台 8 由一种耐高温材料构成，它的导热率至少等于上部材料导热率的 15 倍。优先采用的方案是，保存池 6 的覆盖层 10 采用 2~10cm 厚度的氧化锆，凸台 8 采用石墨。该装置还包含有底板横向侵蚀的扩展设备 5。



权利要求书

1.阻止核反应堆熔化后的熔化物渗入到土壤中的装置，此装置有一个保存池(6)，设置在支承着该反应堆的混凝土底板(4)中，同熔化物相接触的保存池上部(10)由一种对熔化物组分具有惰性化学性能的耐高温材料组成，可选用2至10cm厚的氧化锆或氧化钍，而保存池的下部(8)是由一种耐高温的且具有良好的导热性能的石墨材料所组成，并且与一条通过流体循环来冷却的回路相连，所述底板(4)包括有熔化物横向侵蚀的扩展设备(5)，保证当熔化物达到保存池(6)的高度时，此熔化物的表面积将扩展到几乎与保存池(6)的表面积相等，特征在于：这种扩展设备(5)是由底板(4)中保存池(6)上面按叠置关系布置的一批同心槽构成，其中任一个槽的外径大于紧邻其上之槽的外径。

2.如权利要求1所述的装置，其特征在于：保存池(6)基本上嵌入到底板(4)的一半厚度处。

3.如权利要求1所述的装置，其特征在于：由上述这批同心槽所形成的展宽角 α 相对于垂直方向是在 45° 至 70° 之间。

4.如权利要求1或2所述的装置，其特征在于：所述保存池(6)至少包含一个凸台(8)，以加大它同熔化物的接触面积。

5.如权利要求1或2所述的装置，特征在于：所述保存池(6)包括有侧边(9)，此侧边的高度可使熔化物容纳在此保存池内。

本发明论述一种用来阻止熔化的核反应堆堆芯渗入到土壤中的装置，特别是在反应堆失去控制和超功率运行以后使用。

为了很好地了解本发明，我们先回顾一下进行铀裂变反应的核反应堆，这种核反应堆通常由堆芯1构成(图3)，从严格意义上讲堆芯1包含有设置在混凝土壳体2内的反应堆，这一壳体本身被封闭在另一个混凝土的密封安全壳3中，安全壳3具有称之为“底板”的4米至5米厚的底座4，该底板用一些支柱支撑以构成为抗震结构。

核电站中近来发生的事故表明，许多事故中可

能导致堆芯熔化的危险产未排除。在这种情况下，特别是在法国建造的那一类核电站中，双层壳体和过滤系统可使放射性流出物封闭在安全壳内部。但是，几乎可以肯定，全部熔融物质不会静止不动，它们的存在，对于起安全和密封作用的底部结构的牢固程度是一种巨大的危险，特别是当底部结构处于含水层以上是危险更大。

在发生导致反应堆堆芯破坏的事故之后，存在有主要由下述组分构成的大量熔融物质：

氧化物相，它含有能量，因为它包含有主要由氧化铀和氧化锆组成的裂变产物；

金属相，主要由钢、锆、铬和其它种金属组成。

这种称之为“熔化物”的集合体形成为具有很大能量的团状物质，对于初始功率为1000MW量级的反应堆来说，这种熔化物团在一天或二天之后由于某些元素的放射性以及混凝土分解的放热反应保留有10至15MW左右的剩余功率以及估计约2000℃的温度。

这种熔化物团侵蚀底板的混凝土并使之分解，估计几小时以后的侵蚀速度为每小时几个厘米，几天以后，底板的基础混凝土将不可避免地被穿透，熔化物将流入底土。

此外，一旦底板被穿透，安全壳的密封性便不再能保证，便会产生放射性气体的泄漏。

考虑到失控的反应堆存在的危险，有必要设计一种装置使熔化物在渗入底土以前被阻止住，从而防止底土和大气由于熔化物泄漏而被污染的巨大危险。

这种装置应完成下述两项功能：

在同熔化物接触时，它应是耐高温的，而且在2000℃至2500℃以下它对于上面提到的熔化物组分具有惰性化学性能；

它应通过降低熔化物一耐高温材料界面的温度排出由熔化物产生的剩余热通量。

此外，这种耐高温的惰性材料应当同某些冷却回路相连，设计这些冷却回路是为了排出由此转移的热通量。

当前，还没有一种材料能够独自保证上述两项功能，并在上述温度范围内具有很高的导热率，因此应当将这两项功能分开来，由一种适当的材料来完成一项功能。

在法国专利 FR2336772 的申请书中, 介绍了一种用于核反应堆安全槽的保护覆盖层, 它由一层高熔点的材料构成 (例如二氧化钍或二氧化铀), 其特点是在这一层难熔材料的下面含有一层具有良好导热率的材料 (例如石墨)。但是, 在反应堆超功率运行情况下, 这种装置直接置于熔化物的下降路径上, 熔化物还扩展不大, 其温度达到 2000℃ 以上 (如图 1 所示), 这种熔化物存在有使保存池中间部分很快损坏, 并继续以失控方式下渗的危险。

根据上面所作的介绍, 作为本发明的目标是用来阻止熔化的核反应堆堆芯渗入到土壤中的装置, 该装置应由一个依靠适当的冷却系统且具有良好导热性能的、用石墨制成的圆形池构成, 池的内表面覆盖有一层氧化锆, 对其厚度作了计算以使石墨工作在最佳的温度范围内。将这种圆形池嵌入在底板的中央, 以使熔化物封闭在底板中, 从而可使底板保持其密封性, 此外, 还采取了一些设施保证在熔化物到达保存池的高度以前使之扩展出来, 以使熔化物同耐高温的覆盖层在更大的表面上相接触。

更确切地说, 本发明的目标是用来阻止熔化的核反应堆堆芯渗入到土壤中去的一种装置, 该反应堆由地基上的混凝土底板所支撑, 底板设置有一个保存池, 它同熔化物相接触的上部用一种对于熔化物组分具有惰性化学性能的耐高温材料构成, 可选用氧化锆或氧化钍, 厚度约为 2 至 10 厘米; 保存池的下部由一种具有良好导热性能的耐高温材料构成 (例如石墨), 它同采用流体循环的冷却回路相连。这种装置的特点在于将保存池嵌入到混凝土底板中, 在于底板具有熔化物横向侵蚀的扩展设备, 以使熔化物到达保存池的高度时几乎扩张到保存池的整个表面上。

扩展设备可由底板中保存池上部按叠加关系配置的许多同心槽所构成, 每一个同心槽的外径大于紧接着的上一个槽的外径。

更好的作法是, 将保存池嵌入到底部的一半高度, 底板上部保证使熔化物在横向扩张的同进行初步的下降减速, 而底板的下部仍保持完整, 继续保证反应堆安全壳的密封性。

底板的下部有冷却设备相接, 这些设备设计用来排出保存池汇集的热通量。

图 1 至图 5 对本发明作了说明。

图 1 中表示的区域 (用斜线表示) 是石墨的平均导热率 ($W/K \cdot m$) 对于温度的关系。

图 2 表示了混凝土底板 4 随着熔化物下降产生的横向侵蚀的进展情况, 表示了由于采用一系列适当配置的同心槽 5 而有利于横向侵蚀的措施。

图 3 表示了反应堆 1 下部的简化剖面图, 安装有本发明的对象即保存池 6, 有利于横向侵蚀的一些同心槽 5, 保存池的冷却设备 7。图中还表示了反应堆的壳体 2 和安全壳 3。

图 4 是另一种实施方案, 其中保存池 6 包含有一个凸台 8, 它加大了总面积, 因而加大了可接受的热通量。

图 5 表示了保存池 6 的构造细节, 包括有石墨构成的凸台 8, 氧化锆覆盖层 10, 氧化锆覆盖层加厚的侧边 9, 以及冷却系统 7 的位置。

首先考虑一下需要排出的热通量:

稳定状态下经过材料 i 构成的平板的热通量流动规律用下述关系式 (傅立叶公式) 给出:

$$\Phi = \frac{\lambda_i S [T_{2,i} - T_{1,i}]}{e_i}$$

其中: Φ 是热通量,

λ_i 是该材料的导热率,

S 为接触面积,

e_i 为材料 i 的厚度,

$T_{2,i}$ 是材料 i 的热表面温度,

$T_{1,i}$ 是材料 i 的冷表面温度。

可以见到, 材料 i 的导热率越大, 接触面积 (熔化物—耐高温材料) 越大, 则排出的热通量也越大。

现在来解决属于防护系统的第一项功能: 耐高温材料在高达 2500℃ 温度时, 应当对氧化物 (尤其对氧化铀) 完全不起化学反应, 氧化锆 (其熔点 PF 为 2650℃) 符合这些条件。但是, 这一产品具有较低的导热率 (约为 $3W/m \cdot k$)。因此, 它不能以很厚的厚度单独使用, 因为它阻止热通量的导出。氧化钍也可以适用, 不过其价格很贵, 它的导热率随温度而变, 是氧化锆的 2~3 倍。

因此解决方案在于采用这样一个系统, 其中用 2 至 10 厘米厚的一薄层氧化锆来保证其第一项功能。

第二项功能是排出热量, 如果材料工作在不太

高的温度区域，那么石墨是完全适用于这一功能的耐高温材料，因为它的导热率随温度而下降（见图1）。因此最好将它同氧化锆的界面保持在温度300℃以下。

此外，希望使下部组成材料的导热率至少等于上部组成材料导热率的15倍，上部材料的导热率最好在1至15W/m·k之间。这就是石墨的情况。

现在来考虑面积问题（傅立叶公式中的参数S）：

我们通过建立模型进行了热计算，以便研究，采用什么样的尺寸将我们确定的系统按照其几何形状安置到核反应堆的内部。

反应堆堆芯的直径通常为5米左右。如果我们把反应堆堆芯安置在保存池以内，则可以发现，对于待排出的15MW热通量来说，氧化锆层中的温度大约为6000°K。因此可见，在设置保存池时采用使熔化物—氧化锆的接触面积比5米直径的对面积更大的布局是适当的（见例1）。

假如我们想使熔化物—氧化锆的界面温度保持在1500℃左右，则计算表明，保存池应有14~15米左右的直径（例2和例3）。

在这些条件下，应用5厘米左右厚度的一层氧化锆就足以使石墨工作在良好的温度条件之下。

假如在考虑的结构尺寸情况下（反应堆堆芯直径为5米）我们使熔化物封闭起来以使得它首先穿越底板。开始时，它在相当于5~6米直径的面积上同混凝土相接触。在穿越底板的过程中（见图2），熔化物沿深度方向和横向侵蚀混凝土。在横向，当由于底板不断被渗透而使混凝土不再同熔化物相接触时，横向的侵蚀便停止下来。随着侵蚀的不断进展，熔化物在宽度方向扩张得越大，则横向侵蚀也就越加厉害。根据熔化物的温度，它或者处于液体状态，或者为具有较低粘度的粘稠状态，这种状态使之能充满侵蚀面上所有可接近的空间。因此，在熔化物不断下降的过程中，它的高度在下降，它的接触面的面积在增加。因此，底板的侵蚀将以一个展宽的角度在不断扩展。侵蚀角（相对于垂直线）越大越有好处，以使保存池可以布置在更加靠近底板表面的结构中。

这样可在保存池以下保持有足够厚的完好底板厚度，以使底板在反应堆事故破坏以后许多年的过

程中保证它的三个主要功能：对于放射性液体和气体的密封性，结构件的机械强度和完整性，抗地震的能力，而不必昂贵地去增加底板的初始厚度。

另外，底板中保存池的位置应符合另一个要求。当熔化物在混凝土底板中不断下降和扩张的期间内，熔化物产生的能量不断地下降，例如从30至40MW逐渐地达到相当于中寿期和长寿期的放射性核素衰变能的数值（例如15mw）。因此，希望只有当熔化物的能量下降到这一逐渐接近的功率极限值左右时，熔化物才碰到保存池。对于这种现象的模拟，可以计算出为达到上面所述的各项要求对应的混凝土最佳厚度为2米或3米。

举个例子，如果底板的初始厚度为5米，保存池位于底板内3米处，那么尚留2米左右完好的底板用来保证前已指出的功能。

我们可以通过加入一些适当的扩展设备来增加底板横向侵蚀的作用范围，从而改进本装置。

这些扩展设备可由底板中保存池上面按叠加关系布置的许多同心槽所构成，每一个同心槽的直径大于紧接的上一个槽的直径。

由一组同心槽形成的展宽角 α 在45度至70度之间，最好在60度至70度之间。这一角度也可以随着向下的高度而逐渐加大，如图2上所示的那样。

如果侵蚀角 α 约为60度至70度（对于垂直线而言），那么由于底板侵蚀面的扩大（见图2），可使保存池设置在底板以下2米处而不是3米处。

图3上表示了熔化物垂直渗透的封闭系统，图上对冷却系统7的表示很简化，是示意性的，因为严格来说它不是本发明的组成部分（例如，用流体循环，或Caloducs）。

这一系统将阻止垂直渗入，它通过将放射性蒸汽保持在密封空间内而防止使底土受到污染。

图4表示了由于采用一个或多个同样由氧化锆10覆盖的同心凸台8，因而增加保存池同熔化物接触面积的一种设备。

图5中表示了密封保存池6设置方式的细节。实际上，尽管中央部分受到破坏，但装置的几何形状应当可以保持反应堆整个结构的完整性。因此，在可能情况下减小保存池直径的同时增加熔化物—耐高温物质的接触面积是很有好处的。此外，应使装置同熔化物的体积相适应，即侧边9的高度可使

熔化 4 包含在保存池以内。熔化物团的体积为 30 至 40 米³，即对于 15 米直径的保存池来说，熔化物的高度约为 20 厘米。从侧面来说，这相当于 5% 左右的接触面积导出热通量，这同样可以减小保存池的尺寸。

在按照图 5 的实施方案中，凸台 8 的厚度为 600mm，它带有一个侧边 9 和氧化锆覆盖层 10，这个覆盖层在水平部分的厚度为 50mm，在侧边 9 上面其厚度达到 100mm。凸台 8 的下表面同没有详细表示的冷却设备 7 流体循环、Caloducs 等等) 相接触。

我们作如下假设：

反应堆的初始热功率 2700MW，

保存池由 600mm 厚的石墨并覆盖以 50mm 厚的氧化锆层而构成。

由于产品的各向异性，石墨在水平方向的导热率为 200W / MK，

垂直方向的导热率为 170w / m · k，

氧化锆的导热率为 3w / m · k，

冷却系统使石墨层下面的温度达到 50℃，

需要排出的热通量：15MW，

熔化物的熔点：约为 1500℃。

例 1 (作为比较)

保护覆盖层与图 5 中表示的覆盖层相同，其直径为 5 米 (差不移等于反应堆堆芯的直径)，它设置在带有一层氧化锆的保存池的上面。

传热计算表明，这一系统只能排出 1.2MW，这是完全不够的。

氧化锆层中一半高度处的温度 (计算值) 为 5000℃，因此，没有任何的保护作用，这种使用方式没有达到提出的条件。

例 2 (按照本发明)

按照图 5 的保护覆盖层情况，其直径为 15 米。

熔化物同保存池整个表面上的氧化锆层相接触，要排出的热通量为 15MW，在保存池中心的氧化锆的平均温度为 1000℃ 左右，熔化物—氧化锆界面的温度为 1500℃，氧化锆—石墨界面的温度约为 330℃。这一界面温度稍为偏高，使石墨处于不大有利的导热率范围内 (见图 1)，但熔化物仍被包容在保存池中。

例 3

按照图 5 的保护覆盖层 (保存池) 其直径达到 17 米。熔化物同保存池整个表面上的氧化锆相接触，要排出的热通量为 15MW，在保存池中心的氧化锆的平均温度为 810℃ 左右，熔化物—氧化锆界面的温度为 1500℃，氧化锆—石墨界面的温度约为 250℃，这一界面温度是合适的，它使石墨处于有利的导热率范围内。这样，本发明的目的达到了，阻止了熔化物穿透底板，并具有良好的安全裕度。

注：溶化物是指熔化的核燃料的各种熔化的金属结构中的混合物。

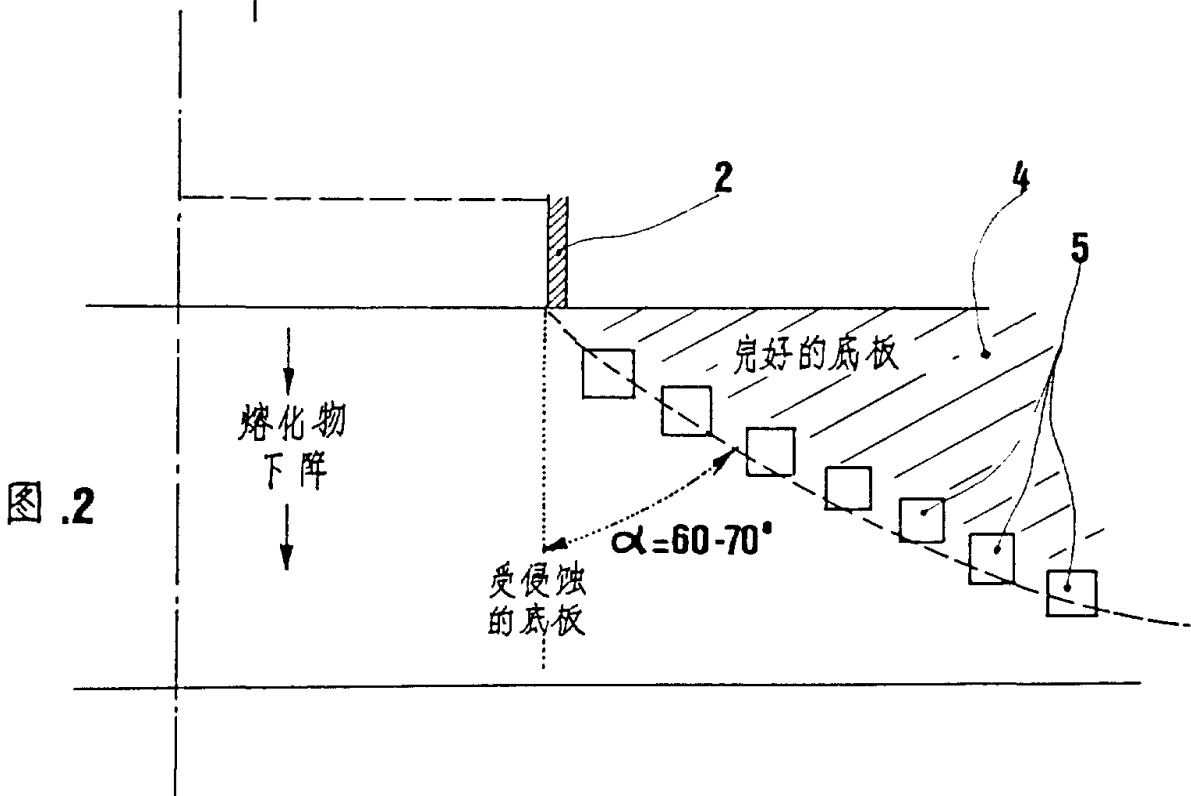
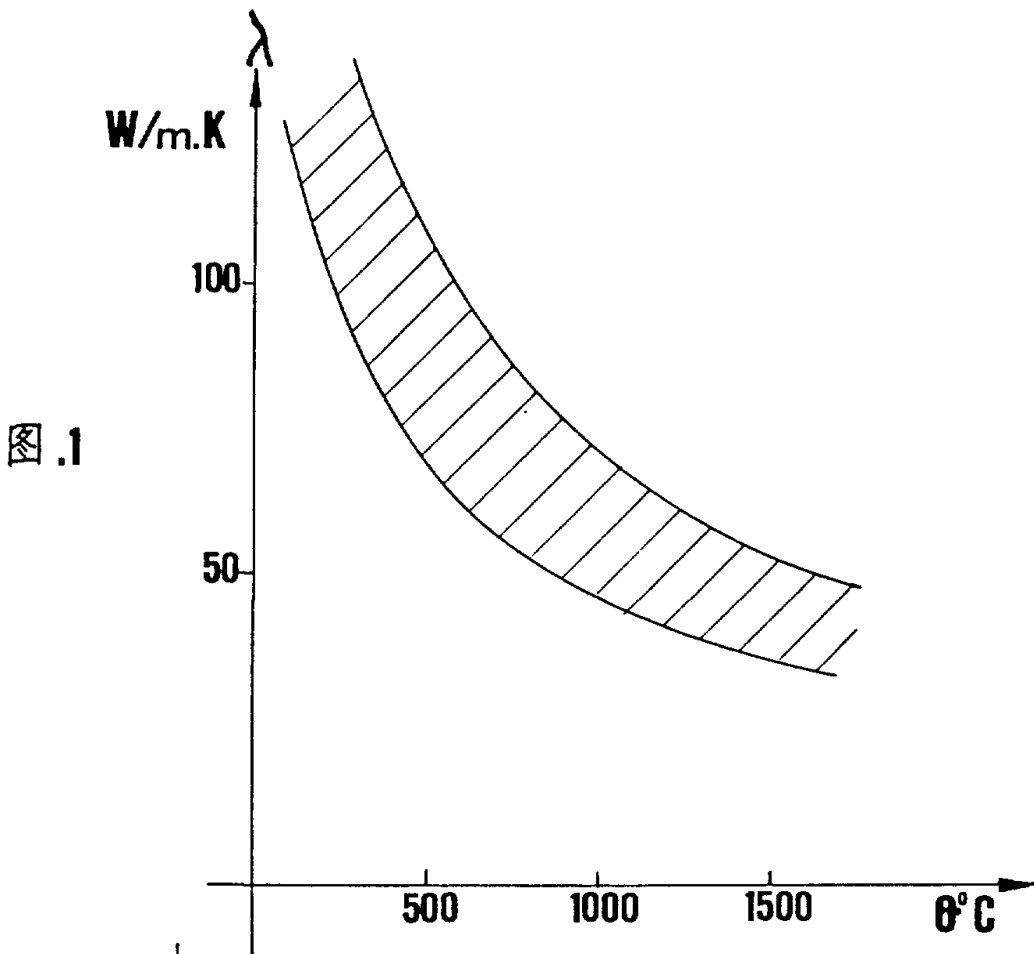


图.3

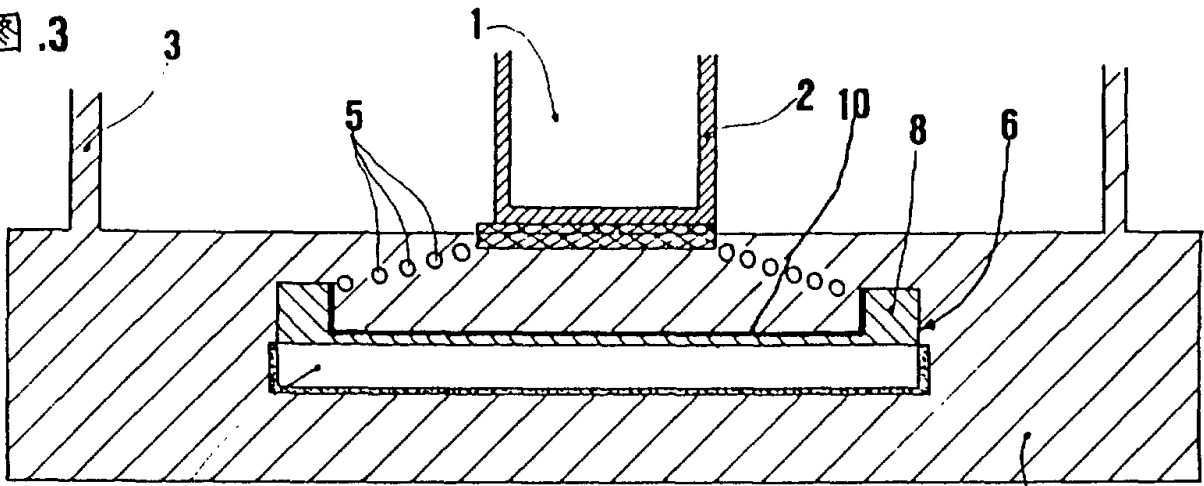


图.4

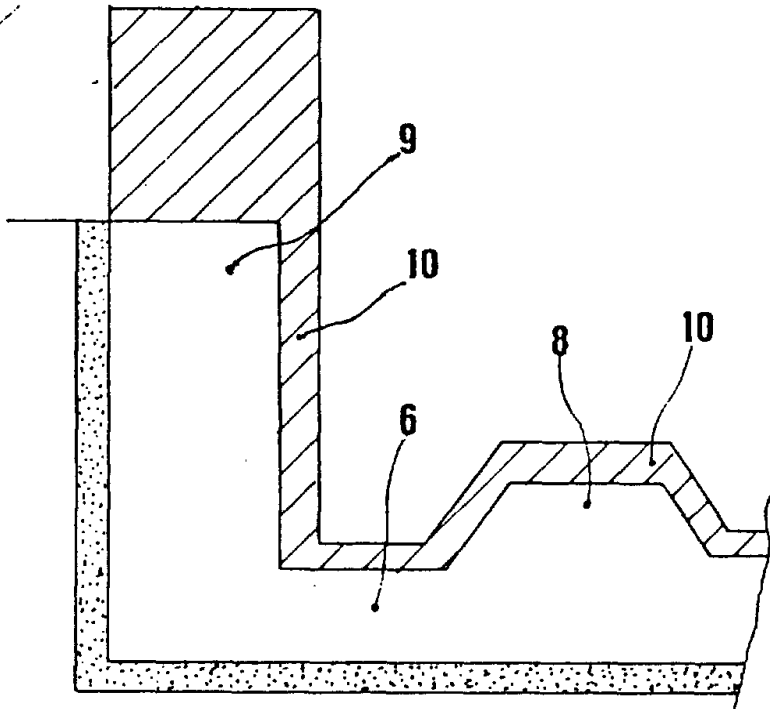


图.5

