

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02826056.2

[51] Int. Cl.

C23C 16/04 (2006.01)

C04B 41/45 (2006.01)

C23C 16/455 (2006.01)

[45] 授权公告日 2008年2月27日

[11] 授权公告号 CN 100371493C

[22] 申请日 2002.12.24 [21] 申请号 02826056.2

[30] 优先权

[32] 2001.12.26 [33] US [31] 10/034,848

[86] 国际申请 PCT/FR2002/004554 2002.12.24

[87] 国际公布 WO2003/056059 法 2003.7.10

[85] 进入国家阶段日期 2004.6.24

[73] 专利权人 马塞尔-布加蒂股份有限公司

地址 法国韦利济

[72] 发明人 E·西翁 Y·博德里

B·德尔佩里耶

[56] 参考文献

US5789026A 1998.8.4

CN1071725C 2001.9.26

US5904957A 1999.5.18

US6144802A 2000.11.7

US5362228A 1994.11.8

US5480678A 1996.1.2

US5738908A 1998.4.14

审查员 王晓燕

[74] 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司

代理人 程伟

权利要求书4页 说明书10页 附图6页

[54] 发明名称

利用化学气相渗透使多孔基质致密化的方法和装置

[57] 摘要

将用于致密化的基质装载于烘箱的装载区中，并在烘箱内加热，以使其温度升高至一定的温度，在该温度下由进入烘箱一端的反应气体中所含的前体气体形成所需的基质材料。在其已进入烘箱后，通过使反应气体经过位于烘箱内反应气体流动方向上的装载区上游的气体加热区域，而加热反应气体。在本发明中，在进入烘箱前预加热反应气体，从而在进入烘箱时，将反应气体升高至在室温和要将基质加热到的温度之间的中间温度。

1.一种使多孔基质致密化的方法，所述基质通过化学气相渗透、使用包含至少一种用于基质材料的气态前体的反应气体而获得，该方法包括：

—将用于致密化的基质装载于烘箱的装载区中；

—在烘箱内加热基质，从而将其温度升高至由在反应气体中所含前体气体形成所需基质材料的温度；

—使反应气体进入烘箱的一端；和

—通过使其经过气体加热区域而在反应气体已进入烘箱内后，加热反应气体，该气体加热区域位于烘箱内反应气体流动方向上装载区的上游；

该方法的特征在于：

—在进入烘箱前预加热反应气体，以便在进入烘箱时，使其具有在室温和将基质加热到的温度之间的中间温度。

2.根据权利要求1所述的方法，其特征在于将基质升高至大于900°C的温度，同时在其进入烘箱前预加热反应气体，从而在进入烘箱时将温度升高至不低于200°C。

3.根据权利要求2所述的方法，其特征在于在进入烘箱前将反应气体预加热至不高于800°C的温度。

4.根据权利要求2所述的方法，其特征在于在进入烘箱前将反应气体预加热至不高于600°C的温度。

5.根据权利要求1至4任一所述的方法，其特征在于通过使反应气体经过一个热交换器而在烘箱外将其预加热。

6.根据权利要求1至4任一所述的方法，其特征在于在等于烘箱内存在的压力下在烘箱外预加热反应气体。

7.根据权利要求 1 至 4 任一所述的方法,其特征在于在高于烘箱内存在的压力下在烘箱外预加热反应气体,并在其进入烘箱前使反应气体扩散。

8.根据权利要求 7 所述的方法,该方法用于使多孔环形基质致密化而制造由碳/碳复合材料制成的刹车盘,所述碳/碳复合材料具有由热解炭基质而致密化的碳纤维增强织物。

9.根据权利要求 8 所述的方法,其特征在于以一个或多个环形堆垛的形式将基质装载于烘箱内,将来自于气体加热区域的反应气体引导至两个容积中的一个,该两个容积由环形堆垛内部的容积和环形堆垛外部装载区的容积构成,同时从两个容积中的另一个中将废气接收而从烘箱中排出。

10.根据权利要求 9 所述的方法,其特征在于堆置基质以便在它们之间留出渗漏通道,该通道将所述两个容积循环连通。

11.根据权利要求 9 所述的方法,其特征在于堆置基质而没有在它们之间留出渗漏通道,以便使反应气体只能通过穿过基质的孔而从所述两个容积中的一个流至另一个中。

12.根据权利要求 9 至 11 任一所述的方法,其特征在于通过穿过烘箱壁面的各自不同的通道,独立地为环形堆垛输送反应气体。

13.根据权利要求 12 所述的方法,其特征在于对每一个堆垛而言,独立地调节为基质堆垛送料的反应气体的预加热温度。

14.一种通过化学气相渗透使多孔基质致密化的装置,该装置包括烘箱(10)、用于将基质装载至烘箱内的区域(30)、用于在装载区中加热基质的装置(12)、用于使反应气体进入烘箱的至少一个入口(22; 22a、22c、22f)和位于烘箱内的在反应气体入口和装载区之间的至少一个气体加

热区域(50a; 50c; 50f);

该装置的特征在于其进一步包括至少一个气体预加热器装置(60; 80), 该装置位于烘箱外并连接至少一个反应气体入口和烘箱, 以便在反应气体进入烘箱前将其加热。

15.根据权利要求 14 所述的装置,其特征在于预加热器装置包括一个电加热管(66), 该管插在用于将反应气体输送至烘箱的反应气体入口处的管道中。

16.根据权利要求 14 所述的装置,其特征在于预加热器装置包括具有至少一个管道的燃气锅炉(80), 通过该管道输送要进行预加热的反应气体流。

17.根据权利要求 16 所述的装置, 其特征在于将锅炉与一个出口(24)连接用于从烘箱内去除废气, 从而使用至少一小部分废气作为锅炉的燃烧气体。

18.根据权利要求 14 所述的装置,其特征在于预加热器装置包括一个电加热的烘箱, 该烘箱具有至少一个穿过其的管子来输送要预加热的反应气体。

19.根据权利要求 14 至 18 任一所述的装置, 其特征在于该装置包括在预加热器装置和用于反应气体进入烘箱的入口之间的膨胀器。

20.根据权利要求 14 至 18 任一所述的装置, 其特征在于预加热器装置包括温度调节装置。

21.根据权利要求 14 至 18 任一所述的装置,用于使放置在许多堆垛中的环形基质致密化, 该装置的特征在于其具有多个气体加热区域(50a、50c、50f), 每一个区域位于用于反应气体进入烘箱的不同入口(22a、22c、22f)和装载区中放置环形堆垛的不同位置之间。

22.根据权利要求 21 所述的装置,其特征在于该装置包括与进入烘箱的反应气体入口连接、用于预加热的反应气体的多个独立的进料管线(62a、62c、62f)。

23.根据权利要求 22 所述的装置,其特征在于独立的进料管线(62a、62c、62f)通过一个共同的管线与预加热器装置连接。

24.根据权利要求 22 所述的装置,其特征在于独立的进料管线与用于预加热反应气体的不同装置连接。

利用化学气相渗透使多孔基质致密化的方法和装置

背景技术

本发明涉及通过化学气相渗透使多孔基质致密化。

本发明的应用领域在于由热结构复合材料、即由不仅具有能够使其用于制造结构部件的机械性能，而且具有在高温下保持这些性能的能力的复合材料来制造部件。热结构复合材料的典型实例为具有由热解炭基质而致密化的碳纤维增强织物的碳/碳(C/C)复合物，和具有由陶瓷基质致密化的耐火纤维(碳或陶瓷)增强织物的陶瓷基质复合物(CMC)。

用于使多孔基质致密化而制造 C/C 复合物或 CMC 部件的公知方法为化学气相渗透。将要致密化的基质放置在烘箱被加热的装载区中。将反应气体注入烘箱内，该反应气体包含一种或多种要构成基质的材料的气态前体。调节烘箱的温度和压力以确保反应气体扩散至基质的孔中，并通过一种或多种反应气体组分的分解或共同反应而沉积在此处的构成基质的材料中，所述组分构成了基质前体。在低压下进行该方法以促使反应气体分散到基质中。前体形成基质材料、如热解炭或陶瓷的转化温度通常大于 900℃，典型地为接近 1000℃。

为了保证遍及烘箱装载区的基质尽可能地致密化，不管对增加密度而言还是对所形成的基质材料的微观结构来说，必须要使整个装载区的温度基本上均匀。

因此，烘箱通常包括位于烘箱的反应气体入口和烘箱装载区之间的区域，在该区域中加热反应气体。典型地，气体加热区域包括供许多反应气体通过的穿孔盘。

由于出现在烘箱中，因此对气体加热盘、如基质进行加热。通

常利用变压器二次回路或如由石墨制成的感受器对烘箱加热，该感受器限定了烘箱的侧壁并且与围绕烘箱的感应线圈连接。

本发明人已经发现，用于加热反应气体的区域的存在并不总是提供所需的结果。一个重要的实例是使由环形碳纤维预制坯或预致密化的环形毛坯构成的致密化基质，而用于制造 C/C 复合制动盘。将基质放置在气体加热区域上面的装载区的一个或多个垂直的堆垛中，该气体加热区域位于烘箱的底部。尽管对反应气体加热，但观察到在装载区的底部及其剩余部分之间的温度梯度，在接近位于堆垛底部的基质的温度比在堆垛的其它部分的温度要低几十摄氏度。这样根据在堆垛内基质的位置，产生了在基质间大的致密化梯度。

为了解决该问题，能够通过增加加热区域而提高加热反应气体的效率。然而，对于给定的烘箱总体积而言，这将减少在装载区有效的工作体积。不幸的是，化学气相渗透法需要大量的工业投资并且其进行过程非常漫长。因此对烘箱而言，不管其是已在使用的烘箱还是要建造的新烘箱，非常希望其具有高产率，和由此用于基质装载的工作体积与用于加热反应气体的体积之间尽可能高的比率。

发明目的和概述

本发明的目的是提供一种通过化学气相渗透的致密化方法，该方法能够获得遍及装载区非常小的温度梯度，却不需要较大体积用于加热反应气体，并由此没有降低、同时甚至能改善这种烘箱的生产率。

这一目的的实现是利用了以下一种方法，该方法包括：

- 将用于致密化的基质装载于烘箱的装载区中；
- 在烘箱内加热基质，从而将其温度升高至由在反应气体中所含前体气体形成所需基质材料的温度；
- 使反应气体进入烘箱的一端；和
- 通过使其经过气体加热区域而在反应气体已进入烘箱内后，加热反应气体，该气体加热区域位于烘箱内反应气体流动方向上装

载区的上游；

在本发明的方法中：

一在进入烘箱前预加热反应气体，以便在进入烘箱时，使其具有在室温和要将基质加热到的温度之间的中间温度。

在烘箱外预加热反应气体，能够使位于烘箱内的加热区域在反应气体一进入基质装载区时更有效地使其达到所需温度。

当在高于 900℃ 的温度下进行渗入时，在进入烘箱前预加热反应气体，以便在进入烘箱时优选使其具有不低于 200℃ 的温度。然而，为了避免由于在进入烘箱前所转移的前体出现任何不希望的沉积，同时对于将预加热的反应气体送至烘箱的管线、和在所述管线中安装的如阀及密封垫的部件而言，为了使其能使用相对普通材料，优选将气体预加热至不超过 800℃ 的温度，或甚至 600℃。

可在基本上等于烘箱内压力的气压下，不然就在较高的压力下进行预加热。当在较高压力下进行预加热时，在其进入烘箱前使预加热的反应气体膨胀。

本发明还试图提供一种能够实现该方法的装置。

实现这一目的是利用以下一种装置，包括：烘箱、用于将基质装载于烘箱内的区域、用于加热装载区中基质的装置、用于将反应气体导入烘箱内的至少一个入口、和位于烘箱内的在反应气体入口和装载区之间的至少一个气体加热区域，

在本发明的装置中，还提供了一个在烘箱外并将至少一个反应气体入口与烘箱连接的至少一个气体预加热器装置，以使反应气体在进入烘箱前得到预加热。

在本发明的一个实施方案中，预加热器装置包括插入到用于将反应气体给料至烘箱的反应气体入口的输送管中的电加热管。

在本发明的另一个实施方案中，预加热器装置包括一个燃气锅炉或一个电加热烘箱，该烘箱具有至少一个管道或管束，它们穿过烘箱用于输送要预加热的反应气体。

附图简述

通过阅读由非限制性的指示而给出的下述描述并参考附图，将

表现出本发明方法和装置的其它特征和优点，在附图中：

—图 1 为本发明致密化装置第一个实施方案的高度概括的剖面图；

—图 2 为表示曲线的图表，该曲线说明了在由预加热反应气体和没有预加热反应气体的两种情况下、从在进入烘箱前到进入基质装载区后反应气体温度是如何变化的；

—图 3 为本发明致密化装置第二个实施方案的高度概括的剖面图；

—图 4 表示将基质装载至致密化装置中的另一种方法；

—图 5 为表示以环形堆垛的形式将基质装载至烘箱内的另一种方法的示意图；

—图 6 为图 5 中平面 VI-VI 的高度概括的剖面图；

—图 7 为表示烘箱的反应气体进料的各种设备的致密化装置的局部视图，其中通过许多基质堆垛形成了烘箱内的装载。

具体实施方式

在下文使环形多孔基质致密化的应用中将描述本发明方法的实施和本发明装置的实施方案，该基质由碳纤维预制坯或由除了 C/C 复合材料以外用于制造刹车盘的预致密化的毛坯构成。该盘通常用于飞机的起落装置和赛车中。

图 1 是表示由圆柱形侧壁 12、底面 14 和顶面 16 限定的烘箱 10 的示意图。壁 12 构成了二次变压器回路或如由石墨制成的感受器，并与位于烘箱外部的感应线圈 18 连接，在它们之间插入有绝缘层 20。当对感应线圈 18 输送电力时，利用感受器 12 对烘箱进行加热。

利用穿过底面 14 而形成的通道 22 将反应气体注入烘箱内，同时利用穿过顶面 16 而形成的通道 24 将废气排出，通过管道 26 将通道 24 与如真空泵的吸气装置(未示出)连接。

将要致密化的基质 32 放置在使其形成在顶部由盖子 34 封闭的环形垂直堆垛。于是，堆置的基质将装载区 30 的内部容积分成了堆垛内的由的基质中央通道排列构成的容积 36 和堆垛外的容积 38

基质。

基质的堆垛设置在底部支撑板 40 上，利用一个或多个中间板 42 可将其分成许多重叠的部分，板 40、42 具有与基质 32 的通道成直线的中央通道 41、43。尽管在图 1 中仅示出了一个堆垛，但可在烘箱 10 中并排设置许多堆垛，如下所述。

如图 1 的局部视图所示，通过垫片 44 使每一个基质 32 与毗邻的基质、或适当的板 40、42、或盖板 34 分开，而形成了间隙 46。将垫片 44 或它们中的一小部分进行排列从而通过间隙 46 为气体在容积 36 和 38 之间保留通道。采用确保容积 36 和 38 中的压力基本上平衡的方式，如在美国专利申请 No.5904957 中所述，或者采用构成用于保持在容积 36 和 38 之间的压力梯度的简单泄漏通道的方式，如在申请号为 No.01/03004 的法国专利申请中所述，来提供这些通道。

气体加热区域 50 在烘箱底部 14 和底部支撑板 40 之间延伸。在传统的方法中，加热区域 50 包括许多举例来说由石墨制成、一个放置在另一个上面、并与其它板相互隔开的穿孔板 52。板 52 可容纳在具有底部 54 和侧壁 56 并限定了加热区域的空间内。通过底部 54，管线 58 连接了反应气体入口 22 和加热区域 30。

底座和支柱 48 支撑气体加热空间和板 40、42。所有这些元件均由如石墨制成。

通过入口 22 而引入烘箱的反应气体经过了加热区域 50，并通过板 40 的中心孔 41 渗入容积 36 中。通过流经基质 32 的孔并经过在间隙 46 中形成的通道，反应气体从容积 36 流向容积 38。通过出口 24 从容积 37 中排出废气。

在一个不同的实施方案中，容积 36 可在底部被封闭并使其与顶部的出口 24 连通。随后，将来自加热区域的反应气体引至装载区的容积 38 中，该气体经过所述区域从容积 38 流向容积 36，容积 38 在顶部被封闭。

在另一个变化中，可通过烘箱的顶壁 16 提供反应气体入口，在该情况下加热区域位于烘箱的顶部。将与加热区域连通的两个容积 36 和 38 中的一个在其底部封闭，同时所述两个容积的另一个与

通过烘箱底面形成的气体出口连通。

为了形成热解炭基质，反应气体包含一种或多种如烃的碳前体。通常所使用的前体为甲烷、丙烷或其混合物。通常在高于 900 °C、如在 950 °C 至 1100 °C 范围内的温度下，和在例如小于 0.1 千帕斯卡(kPa)的低压下进行化学气相渗透。

根据本发明，在将反应气体引入烘箱前通过使其经过预加热器装置 60 而对其进行预加热，该预加热器装置通过进料管线 62 与烘箱的入口 22 连接。优选管线 62 是隔热的。在管线 62 紧邻进入烘箱的入口 22 的上游位置上安装有一个隔离阀 64，以便能使烘箱与反应气体进料回路隔离。

在图 1 的实施方案中，预加热器装置包括输送来自气源 68 的反应气体并与管线 62 连接的电加热管 66。

公知地，电加热管是用于加热流动的流体。通过产生沿部分管流动的电流，根据焦耳效应产生热。该管同时构成了电阻元件、流体流动管道和热交换表面。

通过电源向回路 70 供应输送电压 U 产生了电流，同时电流与管部分的末端连接。回路 70 接收由传感器 72 发出的信息，举例来说，该传感器为一个热电偶，设置在预加热器装置的出口处。通过自动调节作为由传感器 72 测得温度的函数的电压 U，而将预加热温度控制在预定值。

使用位于气源 68 出口处的膨胀器 74，可在烘箱内存在的低压下加热反应气体。

在一个变型中，在高于烘箱内存在的压力下、即在气源 68 的压力与烘箱内压力之间的压力下加热反应气体。在这种情况下，例如利用使其通过一个安装在进料管线 62 中经校准的孔，而在加热烘箱前使预加热的反应气体扩散。

预加热反应气体的目的在于确保在经过加热区域 50 而进一步加热气体后，在等于或接近用于避免在装载区的底部及其剩余部分之间明显的温度梯度所必需的温度下，气体渗入装载区中。

为了更加有效，优选应预加热反应气体以使输送至烘箱入口的气体温度至少为 200 °C。

然而，必须要限制预加热温度、即在预加热器装置出口的温度，以避免在进料管线 62 中形成不希望的沉积(烟灰)，同时也是由于工艺性质的限制。

因此，为了避免不希望的沉积，选择预加热温度不超过 800℃，优选不超过 600℃，从而能够使用可负担成本的材料用于管线 62(如钢)、隔离阀 64 和任何其它暴露于预加热气体的部件如密封垫圈。

根据管线 62 的长度及对其所加隔热外套的情况，预加热气体的温度可降低至高于或低于在离开预加热器装置后、及在进入烘箱前的温度范围。因此，具有预加热至 600℃ 的气体温度在渗入烘箱前可降低几度至几十度，或者由于烘箱内空气的影响而能稍微地上升。

已经进行了对与在图 1 中所示相似的烘箱加入预加热至 600℃ 的反应气体的测试。在预加热器装置出口处、沿着进料管线、进入烘箱的入口处和位于烘箱内进入区域 50 的出口处，测量了气体的温度。图 2 中的曲线 A 表示所观察到的温度变化。

分别在相同的气体流速下和在气体流速增加了 42% 的情况下，已对预加热至 500℃ 的气体进行了其它的测试。图 2 中的曲线 B 和 C 表示了测得温度的变化。

作为对比，对没有预加热而在 20℃ 下引入管线 62 中的反应气体、和在相同流速下预加热至 600℃ 的气体进行了测试。图 2 中的曲线 D 表示直到其渗入烘箱的装载区时反应气体温度的变化。

对给定流速的反应气体、并使用相同的加热区域来说，预加热气体至 600℃ 和 500℃(曲线 A 和 B)能够在进入装载区时使气体温度升高至约 993℃ 和 975℃，而对没有预加热而言(曲线 D)，所述温度明显较低，为 850℃。

因此预加热气体能够避免产生温度梯度，该温度梯度容易导致在位于堆垛底部的基质和其它基质间致密化的明显梯度。

本发明人判断，提高加热区域 50 的效率，以致在没有预加热的情况下能获得与在气体预加热下相同的结果，出于该目的考虑，需要至少 5% 的装载容积。因此预加热在烘箱外的反应气体能够明显改善烘箱的生产率。

此外，由于在进入装载区入口处的温度为约 950°C(曲线 C)，通过明显提高的流速而使预加热至 500°C 保留了其有效性。因此预加热能够增加反应气体的流速，这将有利于降低致密化过程的总体时间。

图 3 表示区别于图 1 不同的致密化装置的实施方案，其中不是由电加热管而是由燃气锅炉形成了预加热器装置 80。

锅炉 80 具有通过在其上安装有控制阀 76 的管线 75 而为其输送燃烧气体如气态烃、例如天然气的燃烧器 82。通过具有安装在其上的压缩机 79 和控制阀 84 的管线 78，为燃烧器 82 输送稀释空气。所得燃烧气体在用烟囱 88 排出前经过热交换器 86。来自源 68 的反应气体，在通过进料管线 62 而被引入烘箱前，通过管道 87 流经热交换器 86。

随着由在燃烧器 80 出口处的温度传感器 72 提供的信号，由控制回路 90 控制控制阀 76 和 84，从而将温度设定为预加热反应气体而所需的温度。

将一小部分废气从管线 26 中抽出用于与送至锅炉的燃烧器的燃烧气体混合。

自然地，其它类型的流体加热装置也可用于预加热气体。

因此，可以通过沿着在烘箱内、由电阻元件加热的一根管或管束而预加热反应气体，同时通过控制输送至电阻元件的电能，而调节在加热装置出口的反应气体的温度。

图 4 表示用于装载基质 32 的不同技术。如图 4 的局部视图所示，利用垫片 44' 在毗邻的基质间、或在基质与板 40、42 或盖板 34 间形成了间隙 46，该垫片以不漏的方式隔离了间隙 46。结果，反应气体只能穿过基质中的孔而从容积 36 流入容积 38 中，因此在这两个容积间产生了十分明显的压力梯度。

图 5 和 6 表示了与图 1 所示的装载不同的多种基质装载形状，其中将基质 32 放置成许多环形的堆垛 31a、31b、31c、31d、31e、31f 和 31g，所有这些堆垛都位于支撑板 40 上。支撑板具有许多与堆垛的内部容积 36a 至 36g 对齐的通道、如 41a，每一个堆垛在其上部被如 34a 的盖板封闭。反应气体流经加热区域 50 并随后流经

堆垛的内部容积，从那里气体流入在装载区 30 内堆垛外部的容积 38 中。尽管在图 6 中示出了 7 个堆垛，很自然地堆垛的数量可以是不同的，特别是该数量可大于 7。

图 7 表示当装载为多个堆垛的形式时，为烘箱输送反应气体的另一种方式。该实施方案与图 5 的不同是其中独立地为堆垛输送反应气体。

因此，通过基本上与堆垛的内部容积对齐的烘箱底部 14 可形成许多通道。在图 7 中，仅可看到与堆垛 32a、32c 和 32f 的内部容积 36a、36c 和 36f 对齐的三个通道 22a、22c 和 22f。独立的进料管线如 62a、62c 和 62f 与在烘箱底部形成的通道连接。

由板 40 支撑的堆垛位于例如 50a、50c 和 50f 的独立气体加热区域上。由不同的垂直圆柱形壁 56a、56c 和 56f、共同的地面 54 和板 40 限定了加热区域。通过各个在加热器外壳的底部 54 形成的孔，如 58a、58c 和 58f 的管线连接了穿过烘箱底部形成的开口与多个加热区域。每一个加热器区域包括许多的一个放置在另一个上面的穿孔板 52。

如 64a、64c 和 64f 的阀安装在不同的进料管线中。

在所示的装置中，来自预加热器装置(图 7 中未示出)的反应气体沿着与如 62a、62c 和 62f 的不同管线连接的共同管线 62 流动。接着向堆垛输送已经预加热至同样温度的反应气体。

在一个变型中，为了在加热区域和堆垛底部提供可能的温差，根据烘箱内堆垛的位置，如 62a、62c 和 62f 的不同管线可与不同的预加热器装置连接。这样能够随着烘箱内要将反应气体输送到其中的特定基质堆垛的位置不同，而独立地调节反应气体的温度。

最后，应该注意到，本发明的应用领域在任何情况下不仅限于制造 C/C 复合刹车盘上，而且可扩展到制造除 C/C 复合材料以外的其它部件，例如火箭发动机喷嘴的分离部分，如特别是在上面引用的美国专利申请 No.5904957 中所示。更广泛地，可实施本发明用于制造除任何类型的热结构复合材料以外、即不仅除了 C/C 复合材料以外，而且除了 CMC 以外的部件。使用 CMC 时，根据陶瓷基质的特殊性质的不同，可选择反应气体。用于陶瓷基质的气态前体

是公知的，例如甲基三氯硅烷(MTS)和氢气(H₂)，用以形成碳化硅基质。可参考法国专利申请 No.2401888，其中描述了形成各种陶瓷基质的方法。

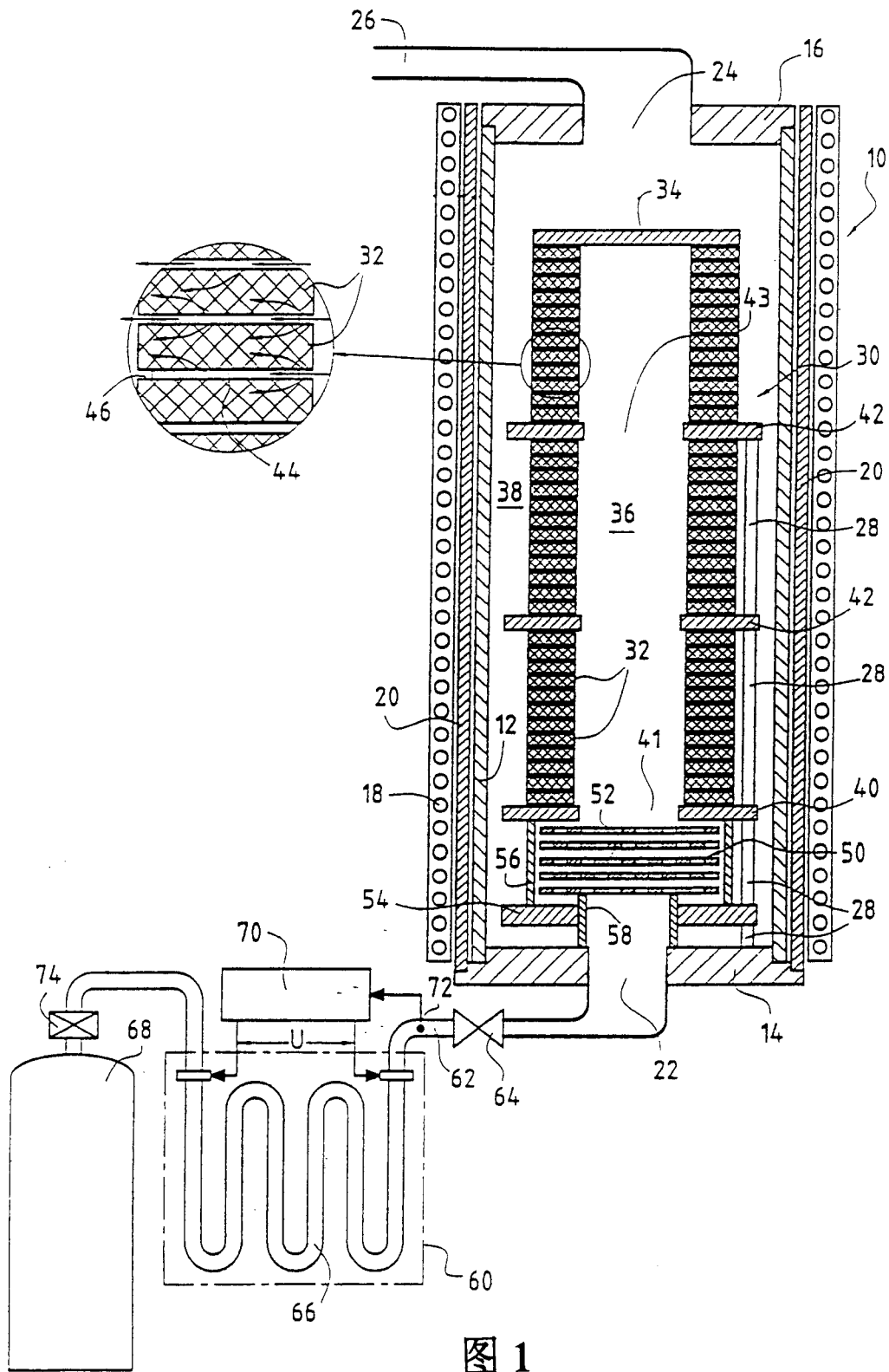


图 1

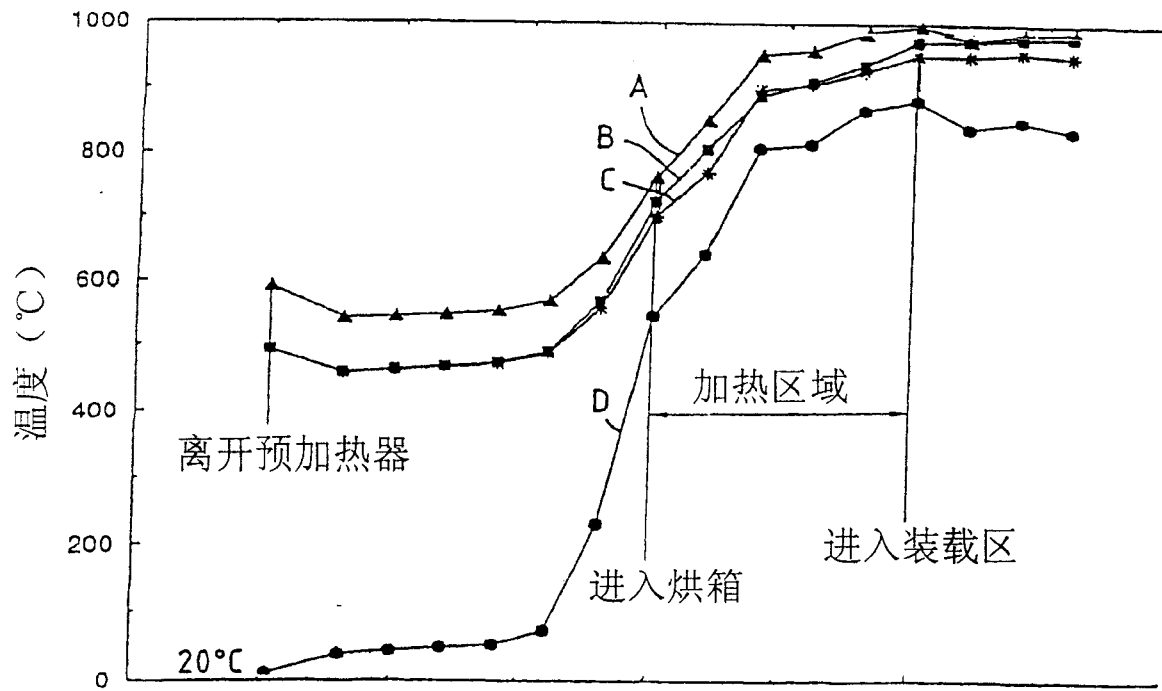


图2

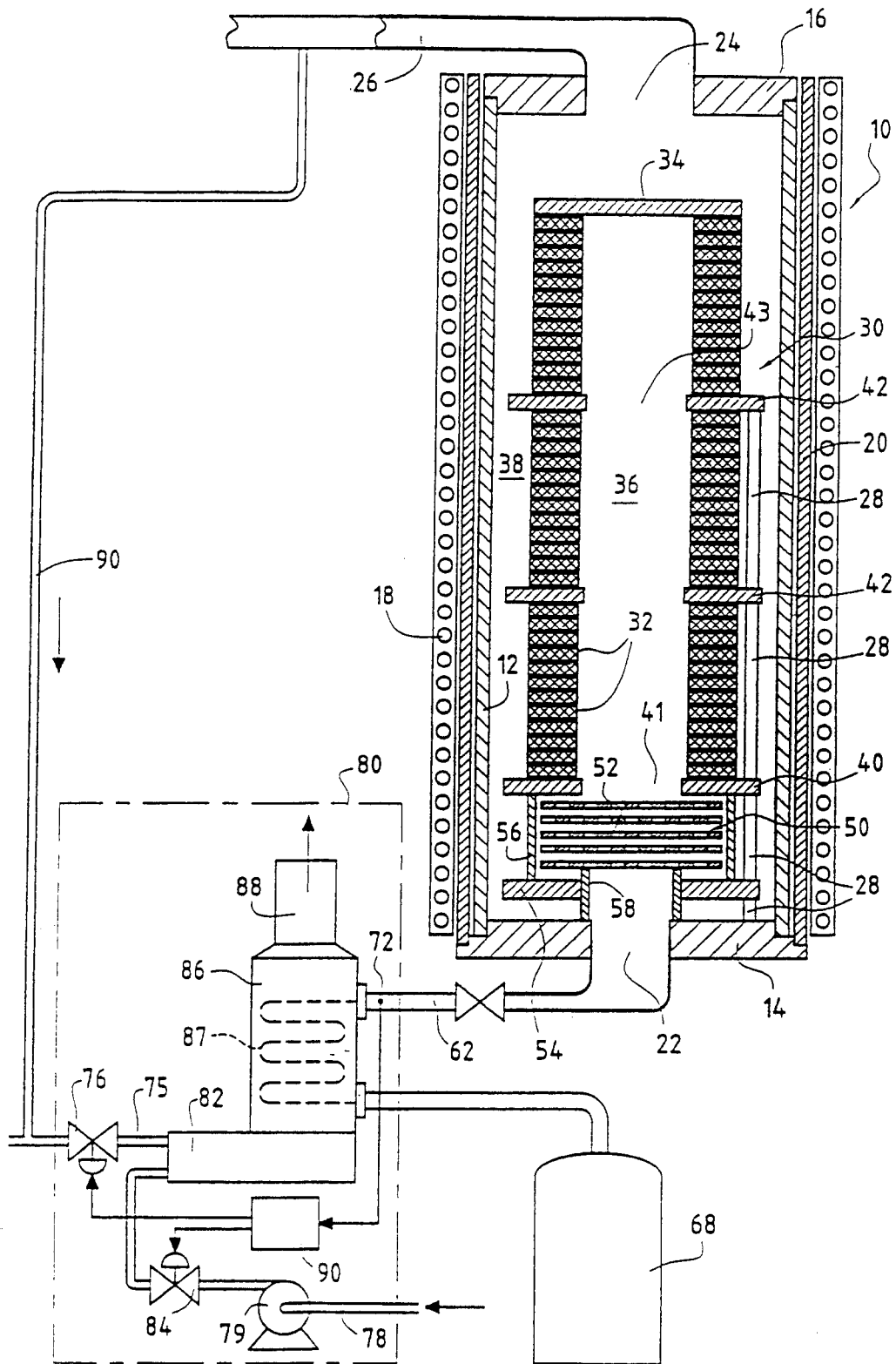


图 3

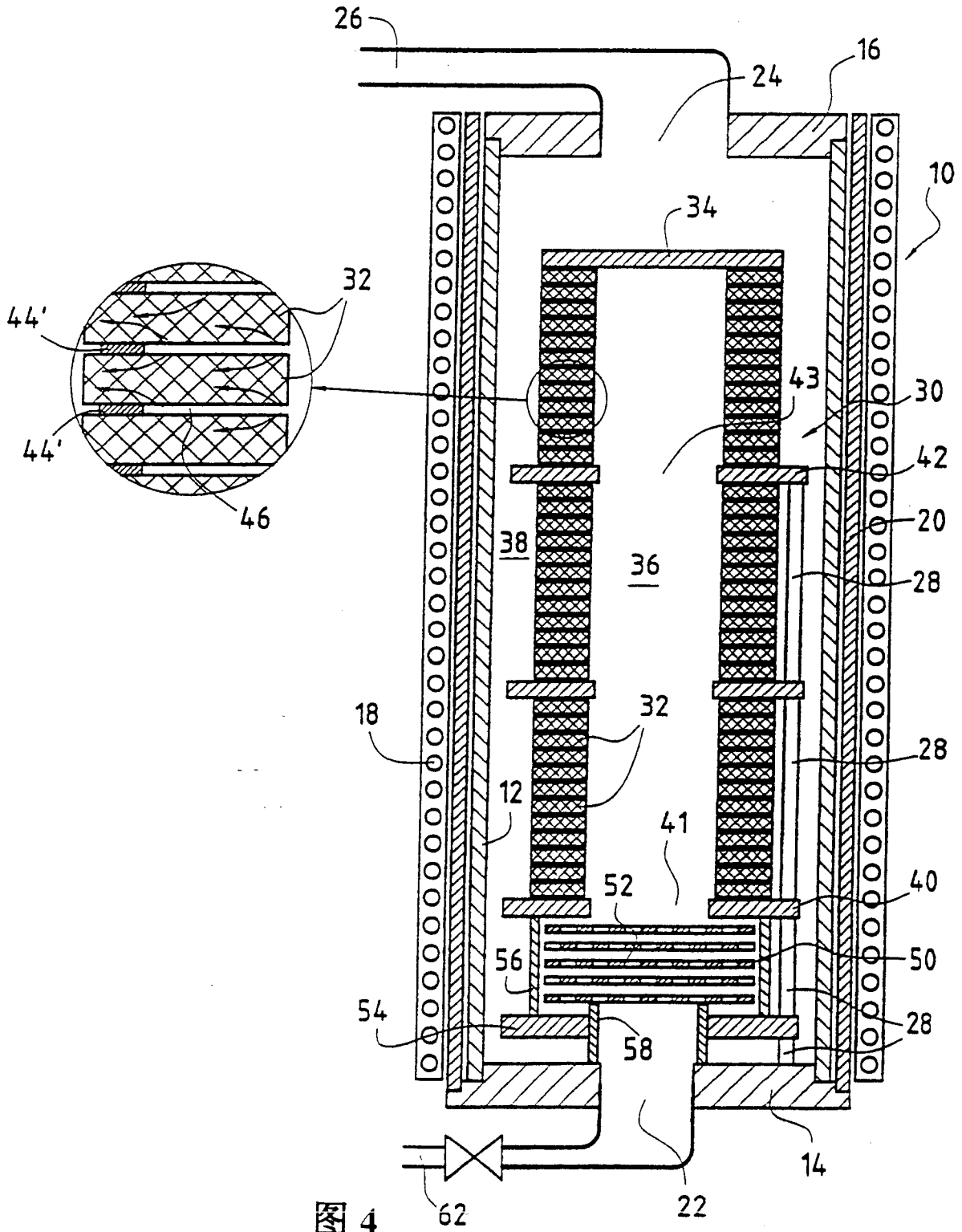


图 4

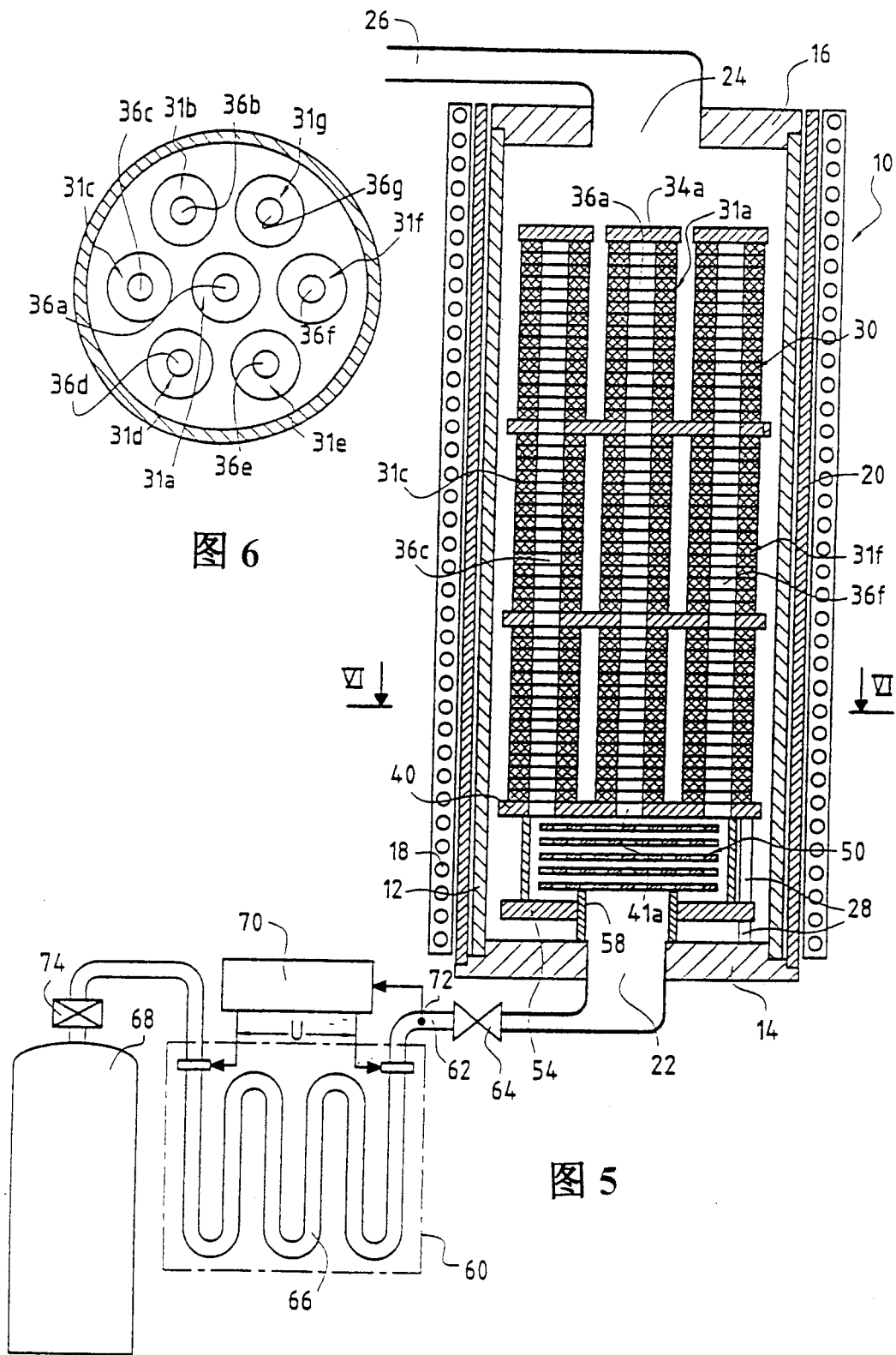


图 6

图 5

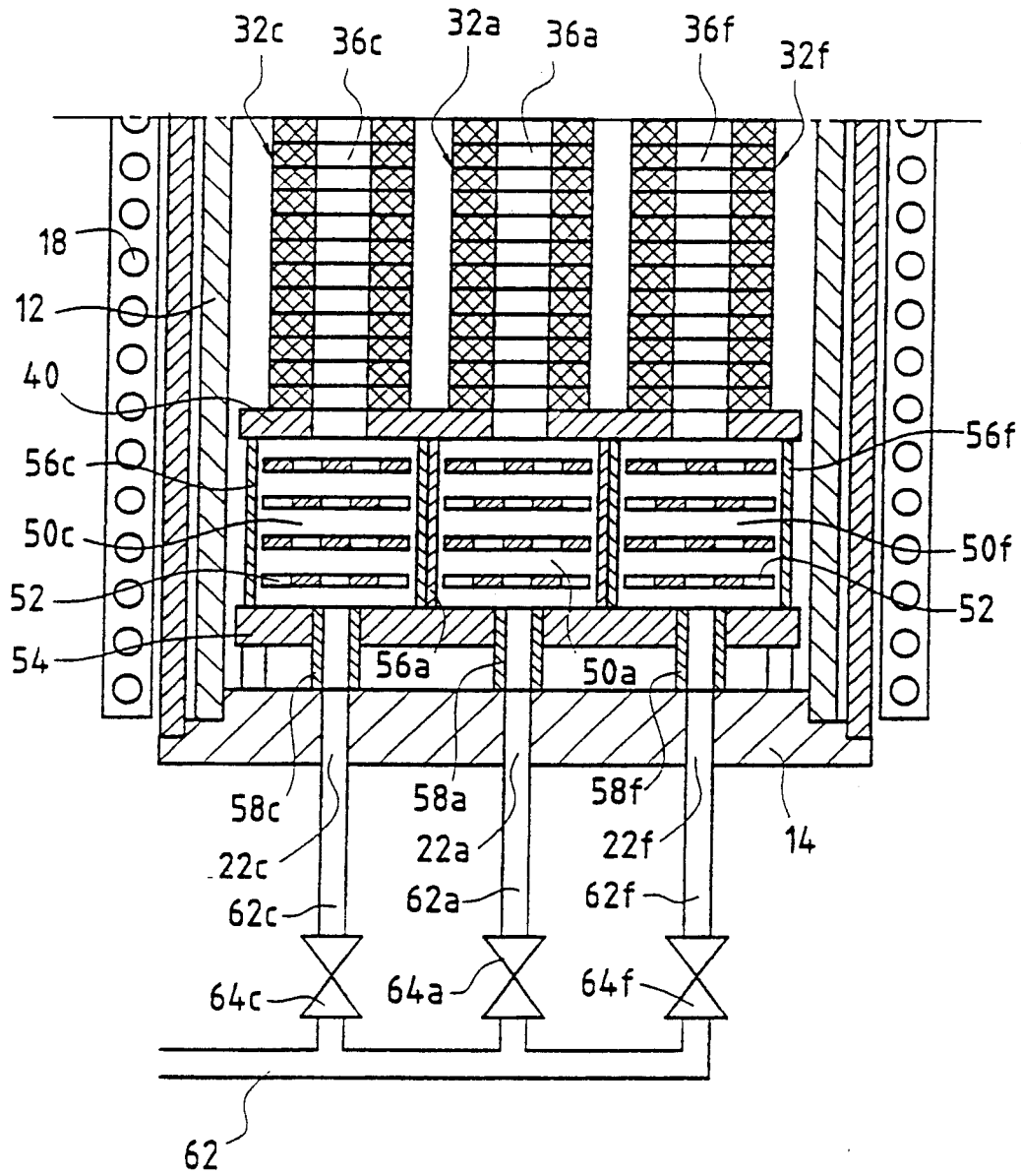


图 7