

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

B01J 19/24 (2006.01)

C01B 3/48 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200610143242.1

[45] 授权公告日 2009 年 7 月 15 日

[11] 授权公告号 CN 100512949C

[22] 申请日 2002.7.9

[21] 申请号 200610143242.1

分案原申请号 02817803.3

[30] 优先权

[32] 2001.7.11 [33] GB [31] 0116894.7

[73] 专利权人 康帕克特 GTL 有限公司

地址 英国牛津郡

[72] 发明人 M·J·博维

D·C·W·布赖克里

C·D·李-图夫内尔

J·A·莫德 D·L·塞加尔

J·W·斯泰曼德 I·F·滋梅曼

[56] 参考文献

EP0305203A2 1989.3.1

US6187273B1 2001.2.13

EP0885653A2 1998.12.23

GB2354960A 2001.4.11

审查员 王 辉

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 原绍辉

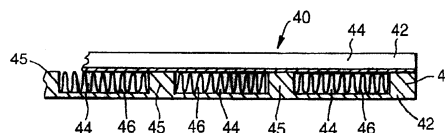
权利要求书 1 页 说明书 12 页 附图 4 页

[54] 发明名称

催化反应器

[57] 摘要

一种催化反应器，它包括多个排列成叠层并且结合在一起的金属片材，这些片材成形为在相邻的片材之间限定第一流通通道并在相邻的片材之间限定第二流通通道，第一流通通道和第二流通通道在叠层中交替布置，使得在第一和第二流通通道中的流体之间具有良好的热接触；以及向流通通道中输送流体的集流管，所述集流管能够将不同的流体输送给第一和第二流通通道；其中在第一流通通道内设置通透性金属传热层，金属传热层可以移除并且结合一种包括燃烧催化剂的催化涂层，这样，在第一流通通道中流动的气体混合物进行燃烧，其特征在于，处在该通道的至少第一部分中的燃烧催化剂涂覆有多孔惰性陶瓷层以限制该反应速率。



1. 一种催化反应器，它包括多个排列成叠层并且结合在一起的金属片材，这些片材成形为在相部的片材之间限定第一流通通道并在相邻的片材之间限定第二流通通道，第一流通通道和第二流通通道在叠层中交替布置，使得在第一和第二流通通道中的流体之间具有良好的热接触；以及向流通通道中输送流体的集流管，所述集流管能够将不同的流体输送给第一和第二流通通道；其中在每个流通通道内设置通透性金属传热层，金属传热层可以去掉并且结合一种催化涂层，在第二流通通道中的催化涂层包括燃烧催化剂，这样，在第二流通通道中流动的气体混合物进行催化燃烧，以产生热，

其特征在于，处在该通道的至少第一部分中的燃烧催化剂涂覆有多孔惰性陶瓷层以限制气体混合物与催化剂的接触并且也限制该反应速率。

2. 如权利要求 1 所述的催化反应器，其中，所述第一和第二流通通道在垂直于相邻金属片材的方向上的深度小于 8 毫米。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的催化反应器，其中，该第一和第二流通通道中的可去掉金属传热层每个包括波纹状金属箔片。

4. 如权利要求 3 所述的催化反应器，其中，在该通道的至少之一中，该波纹状箔片的节距沿该通道的长度改变。

5. 如前述权利要求中任一项所述的催化反应器，其中，在叠层中由连续的片材限定的槽的方向相差 90 度。

6. 前述权利要求中任一项所述的催化反应器用于实施甲烷/蒸汽重整的用途，其中可去掉金属传热层布置于该第一和第二流通通道中，并且处于该第一流通通道中的该可去掉金属传热层结合蒸汽/甲烷重整催化剂。

7. 一种甲烷/蒸汽重整的方法，该方法利用如权利要求 6 所述的催化反应器。

催化反应器

本发明涉及适用于在高压下完成气相反应的催化反应器，特别是，但并非只能是用于完成高放热和吸热反应，并且还涉及利用所述催化反应器的化学工艺和设备。

支承在金属基质上的催化材料的使用是众所周知的。例如，GB1490977 披露了一种包括具有铝的铁合金基质的催化剂，在它上面涂有一层诸如氧化铝、氧化钛或氧化锆的耐火氧化物，然后涂上一层催化性铂类金属。正如在 GB1531134 和 GB1546097 中所披露的，催化主体可以包括交替排列的大体上扁平的片材和所述材料的波纹状片材，以便形成通过所述主体的通道，或者将若干个这样的片材排列成叠层，或者将两个这样的片材缠绕在一起以便形成一个线圈。在所述例子中，扁平片材和波纹状片材都具有小型的叠加在它们上面的波纹，以便有助于所述涂层的形成。已经披露了所述催化剂主体适用于处理来自汽车的废气。在这种场合下，不考虑一个通道和相邻通道之间的热传递，因为所有的通道都携带有具有相同压力的相同气体。

根据本发明，提供了一种催化反应器，它包括多个金属片材，这些金属片材排列成在相邻的片材之间限定第一气体流通通道，在所述第一气体流通通道附近限定第二气体流通通道的装置，将它们排列成能确保在所述第一和第二气体流通通道中的气体之间具有良好的热接触，以及在每一个流体通道内的通透性金属传热层，以及向气体流通通道中输送气体混合物的集流管，所述集流管是这样的，它能够将不同的气体混合物输送给所述第一和第二气体流通通道，所述金属传热层是可以去掉的，并且至少可以在所述第一气体流通通道中结合一种催化涂层，并且，如果所述催化涂层结合有陶瓷层的话，所述涂层仅在所述传热层的不与所述通道壁接触的那些表面上提供。

还可以在所述金属片材之间形成第二气体流通通道，第一和第二气体流通通道是在这些连续的片材之间交替形成的。所述第二气体流通通道还可以采用金属传热层。这样改善了热传递。例如，在每一种情况下，所述金属传热层可以包括一个非平面金属箔片，或金属泡沫、筛网、纤维垫，或蜂巢结构、或组合陶瓷和金属的类似结构。对于气

体流来说，它必须是高度通透性。通常，箔片是适合的。

尽管所述流体通道被称为气体流通通道，但这不是对所述反应器用途的限制，因为可以用液体取代所述气体通过一组或两组通道。例如，当需要的催化反应是放热反应时，传热液体（而不是气体）可以通过另一组流体通道。另外，所述第二流体通道可能不是都装有相同的流体：例如，可以将两种不同的流体输送到交错排列的第二流体通道中。

为了确保所需要的良好热接触，所述第一和第二气体流通通道在垂直于相邻的金属片材的方向上的深度优选小于 8 毫米。所述第一和第二气体流通通道在该方向上的深度优选小于 2 毫米。所述箔片可以是凹窝状的或波纹状的。

例如，所述片材可以是同心管，以便所述气体流通通道是环形通道，每一个环形通道位于一个波纹材料的大体上为筒状的片材上，在所述波纹材料片材的表面上涂有催化材料。在这种情况下，应当在所述管的每一个末端上提供集流管，以便向所述环形通道中输送气体混合物，与相邻通道连通的集流管是独立的。为了确保在波纹片材和所述管之间具有良好的传热性，优选将每一个管紧密配合在相邻的波纹状片材周围。所述管可能具有足够的壁厚度，以便能承受压力差，以便不同的气体混合物处在不同的压力下。

另外，所述片材可以是扁平的，在片材的表面上机械加工或蚀刻形成槽，以便形成气体流通通道。因此，所述反应器可以包括一叠具有足够厚度的这样的扁平片材，以便能承受必要的压力差，相邻片材上的槽是沿不同路径分布的。例如，所述槽的宽度可以为 20 毫米，这一宽度是由所述片材要接受的压力差所决定的，各自容纳有一个或多个涂有催化材料的波纹状材料箔片。为了确保所述气体流通通道是气体密封性的，优选将所述片材结合在一起，不过，所述箔片是可以拆卸的（例如，通过一个集流管）。

在使用催化反应器时，输送到一组通道中的流体混合物与输送到相邻一组流体通道中的流体混合物不同，并且相应的化学反应也是不同的。其中的一种反应可能是吸热反应，而另一种反应可能是放热反应。在这种情况下，热能是通过所述管壁或分隔相邻通道的片材从放热反应传递到吸热反应的。另外，在第一组通道中可能发生一种化学

反应，而在第二流体通道中的流体可能仅仅起着传热介质的作用（输送热能或除去热能）。

该反应器特别适用于完成甲烷/蒸汽重整（它是一种吸热反应，产生氢和一氧化碳），而其他的通道可能装有甲烷/空气混合物，以便由所述放热氧化反应提供所述吸热重整反应所需要的热量。对于氧化反应来说，可以使用若干种不同的催化剂，例如涂在陶瓷支持物上的钯、铂或铜；例如，涂在用镧、铈或钡稳定的氧化铝支持物上的铜或铂，或涂在氧化锆上的铂，或更优选涂在六铝酸金属化合物，如六铝酸镁、钙、锶、钡或钾上的钯。对于重整反应来说，还可以使用若干种不同的催化剂，例如镍、铂、钯、钨或铑，可将它们用于陶瓷涂层；用于重整反应的优选催化剂是涂在氧化铝或稳定化氧化铝上的铑或铂。所述氧化反应可以大体上在大气压力下进行，而所述重整反应可以在较高压力下进行，例如高达 2MPa（20 个大气压），更优选在高于大气压力 0-200kPa 的范围内。

应当理解的是，制成所述反应器的材料在使用时有可能接触腐蚀性很高的环境，例如，温度可能高达 900℃，不过更常见的是在 850℃左右。所述反应器可以用诸如含有铝的铁钢的金属制成，特别是被称为 Fecralloy(商标)的类型的金属，它是含有高达 20%的铬，0.5-12%铝，和 0.1-3%钒的铁。例如，它可以包括具有 15%的铬，4%铝，和 0.3%钒的铁。当这种金属在空气中加热时，它会形成氧化铝的附着性氧化物涂层，该涂层能保护所述合金免受进一步的氧化。该氧化物层还能防止所述合金在诸如甲烷氧化反应器或蒸汽/甲烷重整反应器中所常见的条件下受到腐蚀。当该金属被用作催化基质，并且用在其中掺合了催化材料的陶瓷层进行涂层时，所述金属上的氧化铝的氧化物层被认为是与所述氧化物涂层结合的，以便确保所述催化材料附着在所述金属基质上。

对于某些用途来说，取而代之的是可以将所述催化剂金属直接沉积在所述金属的附着性氧化物涂层上（没有任何陶瓷层）。

特别是当所述反应器被用于吸热反应时，可能需要通过电加热，让电流通过构成该反应器的片材，将该反应器的温度提高到理想的工作温度。这种做法通常只是在开始的时候使用，随后的热量是通过在第二气体流通通道中进行的放热反应或热气体（例如，由诸如层流燃

烧器的外部燃烧过程所产生的废气)提供的。

当所述反应器被用于生产液体产品的方法时,例如,Fischer-Tropsch 合成,可能还需要形成所述波纹,以便强化液体/气体分离。在所述箔片的与液相接触的部分可能也不需要提供催化剂。

下面将结合附图以举例形式对本发明作进一步的和更具体地说明,其中:

图 1 表示可以用本发明的一个或多个反应器进行的化学方法的流程图;

图 2 表示反应器的剖视图;

图 3 表示可以堆积成交替的催化反应器的片材的平面图;

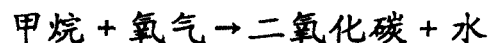
图 4 表示可以堆积成另一种交替的催化反应器的片材的平面图;以及

图 5a 和 5b 表示用于形成另一种交替催化反应器的片材的平面图。

本发明的反应器可以在一种设备中使用,用于完成将甲烷转化成长链烃的化学反应。第一阶段包括蒸汽/甲烷重整,就是说包括以下反应:

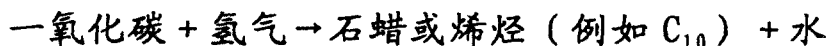


该反应是吸热反应,并且可以通过第一气体流通通道中的铈催化剂催化。完成该反应所需要的热量可以通过甲烷的燃烧提供:就是说:



它是一种放热反应,并且可以通过相邻的第二气体流通通道中的钯催化剂催化。以上两种反应都可以在大气压力下进行,不过所述重整反应也可以在较高压力下进行。通过燃烧反应所产生的热量,可以通过分隔相邻的通道的金属片材传导。

然后将蒸汽/甲烷重整所产生的气体混合物用于完成 Fischer-Tropsch 合成,就是说:



它是一种在较高温度下进行的放热反应,通常在 200-350℃,例如 280℃,并且是在较高压力下进行的,通常为 2-4MPa,例如 2.5MPa。在存在诸如铁、钴或与钾促进剂融合的磁铁的催化剂的条件下进行。通过所述反应形成的有机化合物的确切性质,取决于温度和催化剂,

以及一氧化碳与氢气的比例。通过该合成反应所产生的热量，可用于提供蒸汽/甲烷重整反应所需要的至少一部分热量，例如，可以将诸如氨气或 Dowtherm A (Dow Chemical 的商标) 的传热流体用于传送 Fischer-Tropsch 合成的反应器中的热量，该热量被用于对输送到所述重整反应器中的至少一种气流进行预热。

参见图 1，整个化学过程以流程图形式表示。供给的气体 10 主要包括甲烷，和小百分比（如 10%）的乙烷和丙烷。让所述气体通过热交换器 11，以便它达到大约 400℃ 的温度，然后通过流体涡旋混合器 12 输送到第一催化反应器 14 中；在混合器 12 中，所述供给的气体与同样处在大约 400℃ 的温度下的蒸汽气流混合，所述气流是通过切向入口进入混合器 12 的，并且沿着螺旋通道流向轴向出口，以便它们能充分混合。这两种气流可以处在大气压力下，或者举例来说，处在高于大气压力 100kPa 的压力下。所述流体优选是这样的，蒸汽：甲烷的摩尔比为 1: 1-2: 1，反应器 14 的第一部分是预重整器 15，它具有处在 400℃ 下的镍甲烷化催化剂，其中，高级烷与所述蒸汽起反应，形成甲烷（和 一氧化碳）；如果供给气体 10 基本上不含高级烷的话，该预重整器 15 是不需要的。反应器 14 的第二部分是一个具有铂/铈催化剂的重整器 16，其中，甲烷和蒸汽起反应，以便形成一氧化碳和氢气，该反应可以在 850℃ 下进行。所述吸热反应所需要的热量可以通过甲烷在相邻的气体流通通道（如图中所示）中在钯或铂催化剂上燃烧而提供，或者由来自诸如层流燃烧器的外部燃烧装置的废气提供，来自所述燃烧器的气体沿逆流方向流入通过重整器 16 的气体流；这能使得重整器 16 中的反应气体达到高达 1000℃ 的最终温度。在使用催化燃烧时，所述催化剂可以采用一种金属六铝酸盐（如六铝酸镁）作为基质，该基质本身在高温末端起着催化剂的作用。例如，在它上面涂敷的钯在较低温度末端起着催化剂的作用，以便所述温度从 400℃ 逐渐提高到 850 或 950℃。甲烷/氧气混合物或甲烷可以沿反应器 14 分阶段输送，以便确保燃烧能够在其整个长度上进行。

然后通过从热交换器 18 中经过的方式，对离开重整器 16 的一氧化碳和氢气的热混合物进行冷却，以便提供输送给涡旋混合器 12 的热蒸汽，然后通过热交换器 11，在这里将它的热能传给所述供给的气体。然后通过让该混合物通过一个由水冷却的热交换器 20，进一步冷

却到大约 100℃。然后通过压缩器 20 将所述气体压缩到 2.5MPa 的压力。

然后将高压一氧化碳和氢气气流输送到催化反应器 26 中，在这里让它们反应，进行 Fischer-Tropsch 合成，以便形成石蜡或类似化合物。该反应是放热反应，优选是在大约 280℃下进行，并且所产生的热量可用于对输送到热交换器 18 中的气流进行预热，使用热交换流体，如在反应器 26 中的热交换通道和蒸汽发生器 28 中循环的氦气。在该合成过程中，所述气体的体积减少。然后将所得到的气体输送到冷凝器 30 中，其中，它与最初处在 25℃下的水交换热量。高级烷（例如 C5 和以上）像水那样以液体形式冷凝，该流体混合物被输送到重力分离器 31 中，然后可以作为需要的产品回收所分离的高级烷，而所述水通过热交换器 28 和 18 返回混合器 12。

所有低级烷或甲烷以及其余的氢气通过冷凝器 30，并且输送到制冷冷凝器 32，在这里将它们冷却到大约 5℃。所剩余的气体主要包括氢气、二氧化碳、甲烷和乙烷，该气体通过一个压力释放通风阀 33 输送到喇叭口 34（或者可以将它们输送到第一催化反应器 14 的燃烧通道中）。冷凝器的蒸汽主要包括丙烷、丁烷和水，该蒸汽被输送到重力分离器 35，在这里所述水与来自分离器 31 的循环水合并，而烷通过流体控制阀 36 循环返回到 Fischer-Tropsch 反应器 26。

在以这种方式使用时，该过程的总的结果是甲烷被转化成较高分子量的烃类，这种烃在环境温度下通常是液体。该方法可以在油井或气井上使用，将甲烷气体转化成更便于运输的液态烃。

参见图 2，反应器 40（适于用作 Fischer-Tropsch 合成反应器 26 的实施例）包括一各自为 Fecralloy 钢材的片材 42 的叠层，所述片材为边长 200 毫米的方形，厚度为 3 毫米（在附图中仅示出了两个片材的部分剖视图）。宽度为 8 毫米，深度为 2.5 毫米的槽 44 分布在每一个片材 42 的整个宽度上。与一个侧面平行，由宽度为 3 毫米的脊面 45 分隔，所述槽 44 是通过机械加工形成的。厚度为 50 微米的 Fecralloy 钢材的载体箔片 46 可以滑入每一个这样的槽 44 中，所述箔片用含有催化剂材料的陶瓷涂层涂敷，并且具有 2.5 毫米高度的波纹，每一个这样的箔片，在它的沿波纹的突起和凹槽的表面上缺少陶瓷涂层和催化剂材料。将这样的片材 42 叠层组装在一起，在连续的

片材 42 中, 槽 44 的方向相差 90 度, 并且用一个 Fecralloy 钢材的扁平顶部片材覆盖; 然后将所述叠层扩散结合在一起。然后插入波纹状箔片, 陶瓷涂层在突出部分的上表面和在槽的底表面上的缺乏, 确保了与相邻片材 42 的良好热接触。然后将集流管连接在所述组件的侧面上。因此, 气体流通通道是由槽 44 形成的, 例如, 一组通道从所述叠层的右侧延伸到左侧, 而另一组通道 (在交错的平板 42 上) 从所述叠层的前面延伸到背面。

应当理解的是, 在所述叠层的连续的片材 42 上, 沉积在气体流通通道中的波纹状箔片 46 上的陶瓷的类型可能不同, 并且所述催化剂材料也可能不同。例如, 在一个气体流通通道中, 所述陶瓷可能包括氧化铝, 而在另一个气体流通通道中, 可能包括氧化锆。由片材 42 组成的反应器 40 可能也适合进行蒸汽/甲烷重整, 例如, 使用铈催化剂。因为构成所述叠层的片材 42 是结合在一起的, 气体流通通道是气体密封性的 (不与每一端的集流管连通), 并且片材 42 和槽 44 的尺寸使得在交替的气体流通通道中的压力可以有很大差别。

特别是在将反应器 40 用于 Fischer-Tropsch 合成时, 用于该反应的气体流通通道 44 的宽度可以降低, 并且还可以沿它的长度方向降低深度, 以便改变流体流通条件, 以及热量或质量传递系数。在所述合成反应期间, 所述气体体积减少, 并且通过适当收缩通道 44, 可以在反应进行时维持气体的速度。另外, 波纹状箔片 46 的节距或图案可以沿反应器通道 44 改变, 以便调节催化活性, 并因此提供对反应器 40 中的不同点上的温度或反应速度的控制。还可以对波纹状箔片 46 进行整形, 例如, 使它具有穿孔, 以便促进所述流体在通道 44 里的混合。

当诸如反应器 40 的反应器被用于能产生气态产物的气体之间的反应时, 不用考虑所述通道的取向。不过, 如果产物可能是液体时, 可优选对反应器 40 进行排列, 以便该反应的流通途径是向下倾斜的, 以便确保所产生的所有液体都会从通道 44 中排出。催化剂材料在所述波纹的槽的低部的缺乏, 提供了抑制甲烷形成的优点。

在对反应器 40 的一种改进形式中, 所述箔片是钛金属。通过湿化学工艺在它上面涂有钴和钨的混合氧化物 (分别沿顶部和槽涂敷), 所述工艺包括溶胶-凝胶加工、干燥, 然后在所述钛箔片表面上还原

成钴和钉的细的金属颗粒形式。所述还原是在不会使所述颗粒烧结的足够低的温度下进行的。另外，所述钴和钉的混合的氧化物组合物，可以与氧化铝溶胶或氧化钛溶胶组合沉积；然后对它进行还原（氧化铝或氧化钛防止钴和钉被烧结），以便产生钴和钉金属的小的颗粒；然后通过化学方式溶解氧化铝或氧化钛。在另一种替代方案中，可以通过化学蒸汽沉积，将钴和钉直接沉积在钛上，或者以小的树枝状晶体形式电解，以便产生具有高孔度的钴和钉表面沉积。

在对反应器 40 的一种不同的改进形式中，箔片 42 同样是 Fecralloy，不过催化剂材料是直接沉积在 Fecralloy 材料的氧化物层上的。

参见图 3，另一种反应器 70 包括 Fecralloy 钢铁片材 71 的叠层，每一个片材大体上为矩形，长度 125 毫米，宽度 82 毫米，厚度 2 毫米，沿每一个片材 71 的中央部分通过机械加工产生 7 个平行的矩形槽 72，每一个槽的深度为 0.75 毫米，在每一个末端具有相同深度的集流管槽 74，集流管槽 74 延伸到片材 71 的一个侧缘。在附图中所示出的片材 71 的上表面上，在底部的集流管槽 74 延伸到片材 71 的右侧边缘，而在它的顶部末端延伸到片材 71 的左侧边缘。在片材 71 的相反表面上的槽是相同的，不过集流管（用虚线表示）延伸到片材 71 的相反两侧。连续的片材 71 的集流管槽 74 是以镜像关系排列的，以便相邻的槽 74 延伸到所述叠层的相同一侧。在每一个矩形槽 72 内，有三个波纹状 Fecralloy 箔片 76a, b 和 c，厚度分别为 50 微米，其波纹的高度为 1.5 毫米，不过其波纹的节距或波长不同。在反应器 40 中，箔片 76 在波纹的顶部和槽的表面上都不涂敷陶瓷（或催化剂），以便确保在这些部位具有良好的金属-金属接触。为了确保在组装期间片材 71 的精确定位，在每一个末端提供孔 75，将销钉安装在所述孔中。将片材 71 和箔片 76 的叠层组装在一起，在扩散结合期间压缩片材 71，并因此将片材 71 彼此密封在一起。然后将气体流通通道 78 扩散结合在所述叠层的每一个角上，每一个通道 78 与一组集流管槽 74 连通。

在必须更换催化剂时，可以通过切掉一组集流管，例如切掉平面 66-66 上的集流管，然后从由槽 72 形成的所有通道中抽出箔片 76，并且更换箔片 76 而实现。然后将平面 66-66 上的切割表面精确地机

械加工平整, 重新组装, 并且再次扩散结合在一起。

由于片材 71 是扩散结合在一起的, 反应器 70 可以使用压力相差很大的气流。它还适合蒸汽/甲烷重整阶段 (相当于催化反应器 14), 在这里, 两股气流之间的压力差不是非常大的。在这种情况下, 可能不必要使用其波纹沿任一气体流通通道的长度方向改变的箔片 76, 因此, 可以使用具有均匀波纹的箔片 76 取代它。可以理解的是, 在两种不同气流中的箔片可能不同, 并且, 特别是在催化剂方面有所不同。正如以前所说明的, 在预重整器 15 反应器中, 合适的催化剂可能是镍; 在重整器 16 中, 合适的催化剂可能是铂; 而在燃烧通道中, 合适的催化剂应当是钯。在燃烧通道中的优选催化剂可以包括沉积在诸如六铝酸镁的非烧结陶瓷上的钯; 人们认为, 钯会形成氧化钯, 在高达大约 800℃ 的温度下, 它是有效的燃烧催化剂, 不过, 在高于该温度的温度下, 会形成钯金属, 作为催化剂, 钯金属不是很有效; 六铝酸镁在 800-900℃ 的温度之间起着燃烧催化剂的作用 (并且在该温度范围内不会烧结)。

在一种替代方案中, 所述燃烧是在外部燃烧器 (如层流燃烧器) 中进行的, 大约 900 或 1000℃ 的非常热的废气沿甲烷流的逆流方向通过反应器 14 的第二气体流通通道。在这种情况下, 没有必要提供具有陶瓷涂层或催化剂的箔片, 不过, 所述箔片通过向分隔板 71 传热增强了运载热废气的第二气体流通通道和预重整器和重整器通道中的反应剂之间的热传递。

参见图 4, 另一种反应器 80 在某些方面类似于反应器 70, 它包括 Fecralloy 钢铁片材 81 的叠层, 每一个片材大体上为矩形的。长度 125 毫米, 宽度 90 毫米, 厚度 2 毫米。沿每一个片材 81 的中央部分机械加工形成了 7 个平行的矩形槽 82, 每一个槽的宽度 4 毫米, 深度为 0.75 毫米, 并且间隔 5 毫米, 在每一个末端具有相同深度的集流管槽 84, 集流管槽 84 延伸到靠近片材 81 的一个侧缘的集流管孔 83。因此, 在图中所示片材 81 的上表面上, 所述气体从底部左侧的孔 83 流向顶部右侧的孔 83。在片材 81 的相对表面上的槽是相同的, 不过, 集流管 (用虚线表示) 延伸到靠近片材 81 的相对两侧的集流管孔 87。连续的片材 81 的集流管槽 84 是按镜像关系排列的, 以便相邻的槽 84 与相同的集流管孔对 83 或 87 连通。在每一个矩形槽 82 内, 有 3 个

波纹状 Fecralloy 箔片 86a, b 和 c, 其厚度分别为 50 微米, 其波纹高度为 1.5 毫米, 不过, 在波纹的节距或波长方面有所不同。为了确保在组装期间片材 81 的精确定位, 在每一个末端提供孔 85, 将销钉安装在该孔中, 组装片材 81 和箔片 86 的叠层, 压缩并且扩散结合在一起。然后在所述叠层的顶部形成与孔 83 和 87 的气体流通通道连接, 该通道在所述叠层的底部是封闭的。反应器 80 与反应器 70 的差别不仅在于具有由孔 83 和 87 形成的一体化集流管 (取代通道 78), 而且还具有通过片材 81 的 7 个槽 88, 这些槽是在矩形槽 82 之间的每一个平台上形成的, 每一个槽 82 的宽度为 1 毫米, 长度为 6 毫米。在所述叠层组装之后, 槽 88 提供了第三种气流的流通通道, 例如, 用于对一种气流进行预热。

对于反应器 70 来说, 在必须更换催化剂时, 这一目的可以通过切割掉一组集流管, 例如, 位于平面 67-67 上的集流管, 然后从由所有槽 82 形成的通道中抽出箔片 86, 并且更换箔片 86 而实现。然后对平面 67-67 上的切割表面进行精确的机械加工平整, 重新组装, 并且再次扩散结合在一起。

下面参见图 5a, 5b, 另一种反应器 90 包括由框架 93 间隔分离的波纹状箔片 92 的叠层。每一个框架 (如图 5a 所示) 包括一个大体上为方形的 Fecralloy 钢铁片材 93, 边长为 60 毫米, 厚度为 1 毫米, 由它形成了 4 个分别为 50×10 毫米的矩形孔 94。在片材 93 的每一端有一个深度为 0.5 毫米的集流管槽 95, 通过切口与每一个孔 94 连通。在靠近每一个片材 93 的拐角处具有集流管孔 96。具有两种类型的框架, 这两种框架被交替用于所述叠层中。在一种类型的框架上 (如图 5a 所示), 集流管槽 95 与片材 93 的底部左侧和顶部右侧的孔 96 连通 (如图 5a 所示), 而在另一种类型的框架上 (未示出), 集流管槽 95 与片材 93 的顶部左侧和底部右侧的孔 96 连通。每一个箔片 92 (如图 5b 所示) 也是边长为 60 毫米的方形, 并且具有 0.5 毫米的厚度。它在靠近每一个拐角处形成集流管孔 96。4 个矩形部位 98 (相当于孔 94) 是波纹状的, 高于和低于所述箔片平面的幅度为 0.5 毫米。在实践中, 每一个这样的部位 98 基本上是以相同的图案形成波纹的, 不过, 示出了四种不同的图案: 部位 98a 具有沿流通通道纵向延伸的波纹; 部位 98b 具有沿垂直于流动方向的方向延伸的波纹; 部位 98c 具有凹窝;

而部位 98d 同时具有纵向分布的波纹和凹窝。反应器 90 包括箔片 92 的叠层, 这些箔片是通过交替使用的两种类型的框架 93 分隔开的, 所述叠层的底部包括一个空白方形片材 (未示出), 紧接着是一个框架 93, 并且在所述叠层的顶部包括一个由方形片材 (未示出) 覆盖的框架 93, 由它形成了相当于孔 96 的孔。将所述叠层组装, 压缩并且扩散结合在一起。

应当理解的是, 在反应器 70 和 80 上的通道中的箔片可以是凹窝状的, 以便取代或补充波纹形状, 如在反应器 90 上的情形, 并且还可以是开孔的, 以便提供在每一个通道中的进一步的扰动和混合。

在另一种改进形式中, 在靠近 Fischer-Tropsch 反应器 26 的出口处, 所述箔片可以具有至少沿流通通道的一部分的锯齿形状 (即垂直于流通方向的波纹, 所述波纹的幅度小于所述通道的高度), 以便诱导涡流, 并且启动液体与气体的分离。

在另一种改进形式中, 所述片材能承受流体通道之间的压力差, 例如, 反应器 40 中的片材 42 或反应器 70 中的片材 71, 这些片材是由诸如钛的金属制成, 它能够承受高温和高压, 并且能够方便地扩散结合, 同时, 如果需要陶瓷涂层 (作为催化剂基质) 的话, 所述箔片, 例如 46 和 76 可以是 FeCrAlloy 钢铁。

在催化反应器 14 的燃烧通道中, 如果利用催化燃烧产生热量 (如图中所示) 的话, 所述燃烧催化剂本身可以涂敷一个薄的多孔惰性陶瓷层, 以便限制气体混合物与催化剂的接触, 从而限制反应速度, 特别是在该通道起始部分的反应速度。在另一种替代方案中, 所述燃烧可以在高压下进行。

正如上文所提到过的, 最初可以利用直接让电流通过构成反应器的片材进行电加热, 在输送气体之前将诸如催化反应器 14 的温度提高到例如 400℃, 以便确保进行催化燃烧。在工作期间, 也可以使用电加热, 以便调节反应器的温度。还可以在反应器 14 的出口附近使用电加热, 以便确保进行重整反应的气体达到例如 900℃ 的温度。

正如上文所提到过的, 在 Fischer-Tropsch 合成中所产生的热量, 可以用诸如 DOWTHERM A 的传热流体传递。这种传热流体是两种非常稳定的化合物: 联苯 ($C_{12}H_{10}$) 和二苯基氧 ($C_{12}H_{10}O$) 的低共熔混合物, 并且, 在含有所述流体的通道中的压力, 可能使所述流体保持液相,

或使它能沸腾。

在反应器 14 中，重整器 16 中的温度确定了排出气体中的一氧化碳和二氧化碳的比例。通过确保所述气体混合物达到诸如 900℃或更高的高温，至少在靠近重整器 16 的末端部分达到这一温度，可以使一氧化碳的比例最大化。例如，这一温度曲线可以通过分阶段地向燃烧通道中添加甲烷（可能同时添加氧气）而获得。

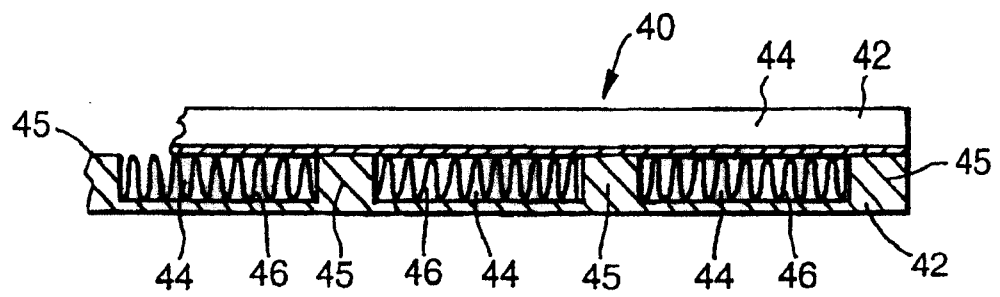


图 2

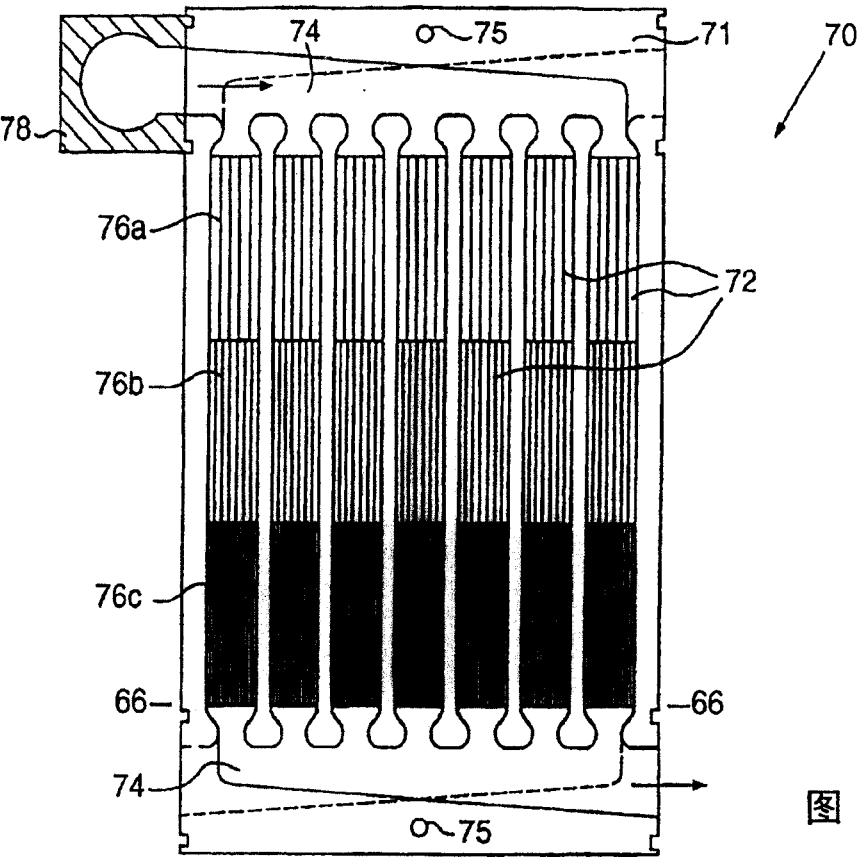


图 3

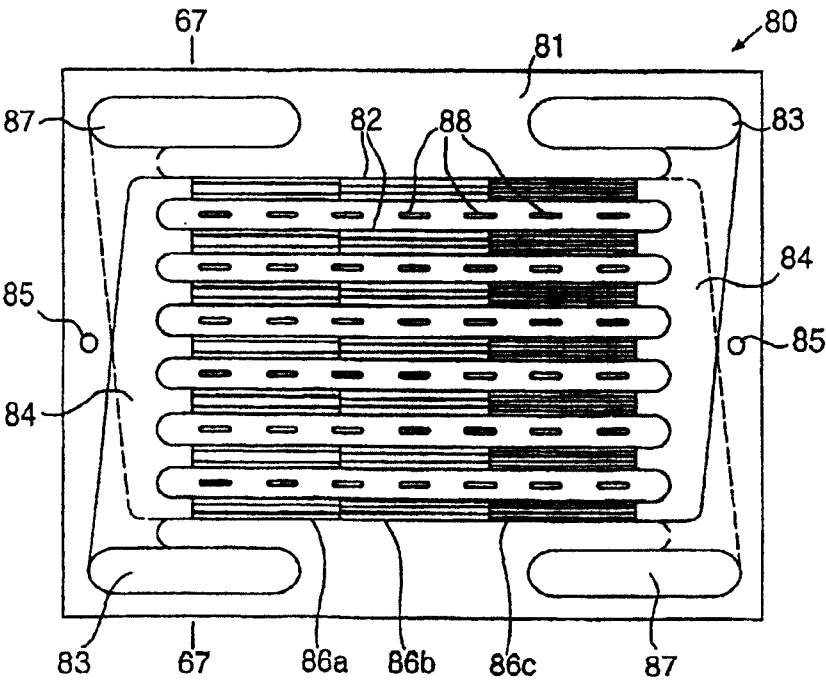


图 4

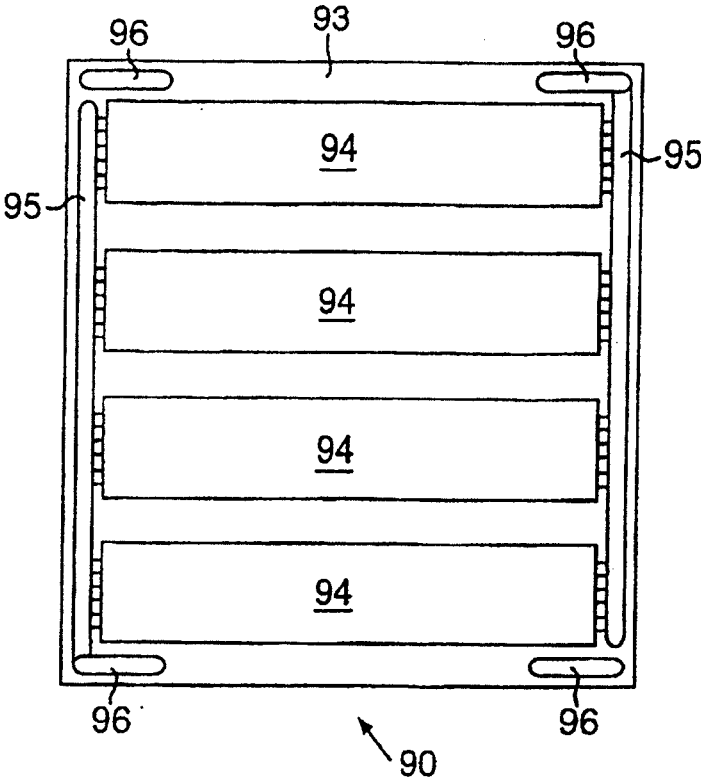


图 5a

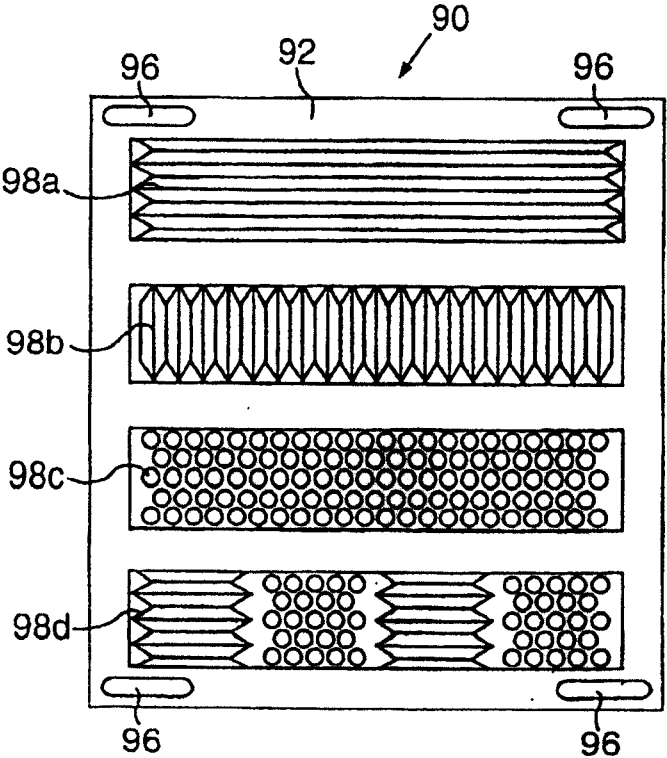


图 5b