[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
C04B 35/622 (2006.01)
C04B 38/00 (2006.01)
C04B 35/56 (2006.01)
C04B 35/58 (2006.01)

[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200780026554.7

[43] 公开日 2009 年 7 月 22 日

[11] 公开号 CN 101489955A

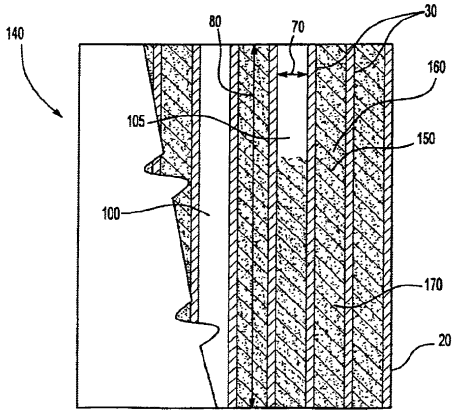
[22] 申请日 2007.7.13
[21] 申请号 200780026554.7
[30] 优先权
[32] 2006.7.14 [33] US [31] 60/831,038
[86] 国际申请 PCT/US2007/016009 2007.7.13
[87] 国际公布 WO2008/008496 英 2008.1.17
[85] 进入国家阶段日期 2009.1.13
[71] 申请人 陶氏环球技术公司
地址 美国密歇根州
[72] 发明人 A·J·普齐科 R·A·纽曼
A·J·威廉斯 S·吴
[74] 专利代理机构 北京戈程知识产权代理有限公司
代理人 程 伟
权利要求书 5 页 说明书 11 页 附图 4 页

[54] 发明名称

改进的复合材料及制造该复合材料的方法

[57] 摘要

本发明涉及一种通过将陶瓷粉末嵌入预制件的通道以形成陶瓷粉末填充的预制件而形成的复合材料。该陶瓷粉末具有至少一种反应性陶瓷粉末。预制件是陶瓷、陶瓷－金属复合材料，金属或其组合，其具有界定了许多通道的壁，每个通道在预制件的表面具有开口。使用熔化的金属渗透陶瓷粉末填充的预制件以形成陶瓷－金属体，其具有至少一个陶瓷相，其是反应性陶瓷和熔化的渗入金属的反应产物。



1、一种制造陶瓷-金属体的方法，其包括

a）将陶瓷粉末嵌入预制件的通道以形成陶瓷粉末填充的预制件，该预制件是（ i ）陶瓷、陶瓷-金属复合材料，金属或其组合和（ ii ）具有界定了许多通道的壁，每个通道在预制件的表面具有开口，其中陶瓷粉末由反应性陶瓷粉末构成，该陶瓷粉末具有比通道的最小通道直径还小的最大粒度，和

b）使用熔化的金属渗入陶瓷粉末填充的预制件以形成陶瓷-金属体。

2、根据权利要求 1 所述的方法，其中预制件是蜂窝。

3、根据权利要求 1 所述的方法，其中预制件是陶瓷-金属复合材料、金属或其组合。

4、根据权利要求 1 所述的方法，其中预制件基本上没有任何开孔。

5、根据权利要求 4 所述的方法，其中预制件基本上致密。

6、根据权利要求 1 所述的方法，其中预制件具有开孔。

7、根据权利要求 6 所述的方法，其中开孔的尺寸足以使嵌入的陶瓷粉末至少部分渗入预制件的壁中。

8、根据权利要求 6 所述的方法，其中开孔具有使得嵌入通道的陶瓷粉末基本上不能渗入预制件的壁的尺寸。

9、根据权利要求 3 所述的方法，其中预制件是金属。

10、根据权利要求 1 所述的方法，其中陶瓷粉末由至少两种反应性陶瓷粉末组成。

11、根据权利要求 1 所述的方法，其中陶瓷粉末进一步由金属粉末组成。

12、根据权利要求 8 所述的方法，其中金属粉末在熔化的金属渗入过程中基本上不熔化。

13、根据权利要求 1 所述的方法，其中嵌入至少一个通道的陶瓷粉末不同于嵌入其它通道的陶瓷粉末。

14、根据权利要求 1 所述的方法，其中嵌入至少一个通道的陶瓷粉末在所述通道内的组成、堆积或其组合上有变化。

15、根据权利要求 14 所述的方法，其中嵌入至少一个通道的陶瓷粉末不同于嵌入其它通道的陶瓷粉末。

16、根据权利要求 1 所述的方法，其中壁在其上或其内部具有粘合剂。

17、根据权利要求 16 所述的方法，其中粘合剂是粉末或涂料。

18、根据权利要求 17 所述的方法，其中粘合剂是陶瓷或金属。

19、根据权利要求 1 所述的方法，其中陶瓷粉末单独由反应性陶瓷粉末组成。

20、根据权利要求 19 所述的方法，其中反应性陶瓷粉末是碳化物、硼化物或其组合。

21、根据权利要求 20 所述的方法，其中反应性陶瓷粉末是含硼的碳化物。

22、根据权利要求 21 所述的方法，其中碳化物是碳化硼。

23、根据权利要求 9 所述的方法，其中金属是铁金属。

24、根据权利要求 24 所述的方法，其中铁金属是钢。

25、根据前述任一项权利要求所述的方法，其中熔化的金属是铝或铝合金。

26、一种由基体组成的陶瓷-金属体，所述基体是陶瓷、金属、陶瓷-金属或其组合，所述基体具有在基体内界定通道的壁，其中通道陶瓷-金属复合材料在基体的至少一个通道内，其具有不同于基体壁的微结构、化学性质或其组合，通道陶瓷金属复合材料由通道金属和通道陶瓷相构成，通道陶瓷相由反应性陶瓷和通道金属与反应性陶瓷的陶瓷反应产物构成。

27、根据权利要求 26 所述的陶瓷-金属体，其中沿至少一个通道的长度，通道陶瓷-金属复合材料在性能、结构、化学性质或其组合上有变化。

28、根据权利要求 25 所述的陶瓷-金属体，其中通道陶瓷-金属复合材料在结构、化学性质、性能或其组合上与陶瓷-金属体的另一个通道中的通道陶瓷-金属复合材料不同。

29、根据权利要求 28 所述的陶瓷-金属体，其中沿至少 50%通道的长度，通道陶瓷-金属复合材料在性能、结构、化学性质或其组合上有变化。

30、根据权利要求 26 所述的陶瓷-金属体，其中在至少一个通道中，通道陶瓷-金属复合材料沿所述通道的横截面尺寸在性能、结构、化学性质或其组合上有变化。

31、根据权利要求26所述的陶瓷-金属体，其中反应性陶瓷是碳化硼，陶瓷反应产物由至少一种选自以下的陶瓷组成：

（a）AlB_2，

（b）Al_4BC，

（c）$Al_3B_{48}C_2$，

（d）AlB_{12}，或

（e）$AlB_{24}C_4$。

32、根据权利要求31所述的陶瓷-金属体，其中至少一个通道的通道陶瓷-金属复合材料由至少两种选自以下的陶瓷组成：

（a）AlB_2，

（b）Al_4BC，

（c）$Al_3B_{48}C_2$，

（d）AlB_{12}，或

（e）$AlB_{24}C_4$。

33、根据权利要求32所述的陶瓷-金属体，其中所有通道的通道陶瓷-金属复合材料由至少两种选自以下的陶瓷组成：

（a）AlB_2，

（b）Al_4BC，

（c）$Al_3B_{48}C_2$，

（d）AlB_{12}，或

（e）$AlB_{24}C_4$。

34、根据权利要求26所述的陶瓷-金属体，其中通道金属是铝、锆、钛、铜、硅、镁、上述每种的合金或其混合物。

35、根据权利要求26所述的陶瓷-金属体，其中通道陶瓷-金属复合材料具有基本上小于通道的最小通道直径的公称最大的陶瓷粒度。

36、根据权利要求35所述的陶瓷-金属体，其中公称最大的陶瓷粒

度是比通道的最小通道直径小至少约 5 倍。

37、根据权利要求 31 所述的陶瓷-金属体，其中至少一个通道的通道陶瓷金属复合材料包含与所述通道陶瓷-金属复合材料的金属不发生反应的陶瓷。

38、根据权利要求 26 所述的陶瓷-金属体，其中基体是陶瓷、金属或其组合。

39、根据权利要求 38 所述的陶瓷-金属体，其中基体是陶瓷。

40、根据权利要求 38 所述的陶瓷-金属体，其中基体是金属。

41、根据权利要求 26 所述的陶瓷-金属体，其中基体是多孔的。

42、根据权利要求 26 所述的陶瓷-金属体，其中基体是致密的。

43、一种结构组件，其由前述权利要求 26-42 中任一项所述的陶瓷-金属体组成。

44、根据权利要求 43 所述的结构组件，其中所述结构组件是车辆结构组件。

45、根据权利要求 44 所述的结构组件，其中所述车辆结构组件是刹车或悬浮组件。

改进的复合材料及制造该复合材料的方法

相关申请的交叉参考

本申请要求2006年7月14日提交的美国临时申请No. 60/831,038的权利。

技术领域

本发明涉及在整体陶瓷、金属、陶瓷-金属复合材料或其结合内形成陶瓷-金属复合材料的宏观复合材料（macro-composite）。

背景技术

在过去的几十年中，已经研制了许多陶瓷-金属复合材料，以试图制造在同一材料中具有陶瓷的优点（例如，硬度和耐高温性）和金属的优点（例如，韧性和易成型性），但各自缺点最小化的材料。例如，已经制造出了陶瓷-金属复合材料，其中使用各种几何形状的陶瓷颗粒（例如，针状单晶）和陶瓷纤维增强金属。典型地，通过共烧结金属和陶瓷粉末，使熔化的金属渗入多孔的陶瓷预制件或将陶瓷颗粒引入熔化的金属来形成该陶瓷-金属复合材料，然后进行铸塑。

陶瓷和金属箔的层压材料也十分常用，例如用作电容器。已经研制了用于减少氧化的在金属上的陶瓷涂层或陶瓷包覆的金属，例如搪瓷炊具。已经描述了用于制造刹车盘的单层层压材料或在金属上的陶瓷和陶瓷金属复合材料的涂层。同样地，已经将碳化钨-钴钎焊或焊接在许多金属上以形成切割工具，例如焊接碳化物的锯片和钻头。

然而，前述每一种都没能开发出与金属或陶瓷整体部分结合的陶瓷颗粒基的陶瓷-金属复合材料的性能。

发明内容

本发明是一种制造陶瓷-金属体的方法，其包括，

a）将陶瓷粉末嵌入预制件的通道以形成陶瓷粉末填充的预制件，

该预制件是（ｉ）陶瓷、陶瓷-金属复合材料、金属或其组合和（ii）具有界定了许多通道的壁，每个通道在预制件的表面具有开口，其中陶瓷粉末由反应性陶瓷粉末构成，该陶瓷粉末具有比通道的最小通道直径还小的最大粒度，和

b）使用熔化的金属渗入陶瓷粉末填充的预制件以形成陶瓷-金属体。

使用该方法能够形成由基体构成的陶瓷-金属体，所述基体是陶瓷、金属、陶瓷-金属或其组合，所述基体具有在基体内界定通道的壁，其中通道陶瓷-金属复合材料（channel ceramic-metal composite）在基体的至少一个通道内，其具有不同于基体壁的微结构、化学性质或其组合，通道陶瓷金属复合材料由通道金属（channel metal）和通道陶瓷（channel ceramic）相构成，通道陶瓷相由反应性陶瓷和通道金属与反应性陶瓷的陶瓷反应产物构成。

可以在使用金属、陶瓷或陶瓷-金属复合材料的任何应用中使用陶瓷-金属体，例如但不限于，车辆结构组件，刹车组件，悬浮组件，发动机组件，汽缸，体育器材，车轮，电缆，电线，电镀，齿轮，密封，轴，工具等。可以进一步将陶瓷-金属体连接在不同材料的其它物体上形成其它组件。

附图说明

图 1 是俯视用于制造本发明陶瓷-金属体的预制件的通道视图，预制件为蜂窝状。

图 2 是图 1 预制件的剖视图。

图 3 是俯视用于制造本发明陶瓷-金属体的另一个预制件的通道视图。

图 4 是图 3 预制件的剖视图。

图 5 是陶瓷粉末嵌入预制件的通道之后，图 1 和 2 的预制件的剖视图。

图 6 是图 5 中填充粉末的通道部分的放大横截面。

图 7 是填充陶瓷粉末以形成陶瓷-金属体的另一个预制件的通道的横截面，其中通道内具有各种陶瓷粉末。

图 8 是本发明陶瓷-金属体的剖视图。

具体实施方式

形成陶瓷-金属体

参照附图，预制件 10 可以是陶瓷、金属、陶瓷金属复合材料或其组合。例如，外壁 20 可以是金属和内壁 30 可以是陶瓷或陶瓷-金属复合材料或反之亦然。此外，一些内壁 30 可以是陶瓷，而其余的内壁 30 是金属和/或陶瓷-金属复合材料，而且任何组合都是合适的。一个或者所有内壁 30 或外壁 20 可以是金属、陶瓷或陶瓷-金属复合材料的组合，如在层压材料结构中，例如是如图 6 所示的外壁 20 上的涂层或包层 130。当存在该涂层或包层 130 时，优选该涂层或包层 130 为金属。进一步优选该涂层或包层 130 促进或增加通道金属 160 对预制件 10 的壁 20 和 30 的浸润和/或粘结。可以通过将塞子 50 嵌入通道 40，或将屏障 60 固定在预制件 10 的末端，将通道 40 在一端隔断。屏障 60 和塞子 50 可以是用于壁 20 和 30 的所述任何材料。

预制件 10 中的壁 20 和 30 可以是多孔的或基本上致密的和任意组合。也就是说，壁 20 和 30 或部分壁 20 和 30 可以具有开口孔 110 和/或闭口孔 120 或基本上致密。本文中基本上致密是指至少理论上 99%的密度。例如，壁可以具有 85%的空隙率至使用测试密度的标准方法或使用熟知的显微技术不可测的空隙率，所述显微技术例如是金相技术，其包括 Underwood 在 Quantitative Stereology, Addison-Wesley, Reading, MA(1970)中所述的使用截距法的复合材料的抛光截面的扫描电子显微照相的定量体视学。优选地，壁具有小于约 75%，更优选小于约 70%，甚至更优选小于约 65%的空隙率，直至基本上致密，优选至多约 1%的空隙率，更优选至多约 5%的空隙率，甚至更优选至多约 10%的空隙率和最优选至多约 20%的空隙率。

当在预制件 10 中存在开口孔 110 时，根据应用该孔具有一定的尺寸和形状，以使至少一部分嵌入的陶瓷粉末 90 能够穿透所述开口孔 110 的 94（穿透的嵌入陶瓷粉末）是合意的。同样地，根据应用，嵌入的陶瓷粉末 90 基本上不能穿透开口孔 110 也是合意的（本文中基本上不能是指通过标准显微技术，开口孔 110 的小于 1%的体积被穿透）。在

优选的具体实施方案中，壁 20 和 30 的任何开口孔 110 的至少 5%的体积被穿透的嵌入陶瓷粉末 94 占据。优选地，被穿透的开口孔 110 的体积是至少约 10%，更优选至少约 20%和最优选至少约 30%，直至所需地基本上与壁 20 和/或 30 界定的通道 40 中嵌入的陶瓷粉末 90 占据的体积相同的体积。

重申一下，预制件 10 可以是陶瓷、金属、陶瓷金属复合材料或其组合。在优选的具体实施方案中，预制件 10 是金属。金属优选是铝、铁、铜、镍、锌、镁、钛、钽、钨、硅、或上述任意金属的合金或其组合。优选地，金属是铁、镍、铜、铝、硅或含有上述大多数的一种金属的合金或其组合。更优选的金属是铁基金属、镍或其合金，或铜或其合金。最优选的金属是任意的组合或单独的铁，铁合金包括例如钢，或镍或镍合金。

在另一个优选的具体实施方案中，预制件 10 是陶瓷。陶瓷可以是例如本领域公知的那些任何合适的陶瓷，特殊陶瓷可取决于所需的应用。陶瓷可以具有任何微结构，包括例如，纤维、片状物、针状粒子、各向同性粒子或其任意组合。优选的陶瓷包括，例如硼化物、氮化物、碳化物、氧化物或其任意混合物（例如，碳氧化物、碳氮化物等）或其组合。适用于预制件 10 的适用的陶瓷的特殊例子包括，例如莫来石、碳化硅、碳化硼、堇青石、氮化硅、二硼化钛、碳化钨、钛酸铝、氮化铝、钛酸铌、氧化铝、氧化镁、二氧化硅、六硼化硅和其组合。

壁 20 和 30 可以是适合于制造陶瓷-金属体 140 的任何有用的形状，例如，如图 3 和 4 所示，壁 20 和 30 可以是圆柱状，以使每个圆柱彼此紧密接触的点界定出通道 40。在该具体实施方案中，使用纤维或电线或电缆可以形成内圆柱壁 30A，然后将其放置在可以是管状或筒状的外壁 20 中。通过挤出或组装具有插入其中的片材或带状物的管可以形成内壁 30B。

壁 20 和/或 30 形成通道 40，通道 40 内具有最小通道直径 70，陶瓷粉末 90 被嵌入超过嵌入的陶瓷粉末 90 的最大粒度的通道 40 中。最小通道直径 70 是指最大的假设球的直径，其能够放置在通道 40 的一端，并且能毫无困难地穿过通道 40 直达另一端。例如，图 1 的方形通道 40 具有最小通道直径 70，其等于方形边缘的长度，并且在该种情况

中，由于通道 40 所有沿通道长度 80 具有平行的壁 20 和 30，通道直径 70 等于最小通道直径。

一般地，嵌入陶瓷粉末 90 的通道的最小通道直径至少比嵌入陶瓷粉末 90 的最大粒度大至少两倍。这样保证嵌入陶瓷粉末 90 减少了形成桥隔断的通道 40 的可能性，使得通道 40 不可能进一步被陶瓷粉末 90 填充。优选最小通道直径比嵌入通道 40 的陶瓷粉末 90 的最大粒度大至少 5 倍，更优选至少 7 倍，最优选至少 10 倍。

在制造预制件 10 时，可以使用任何合适的陶瓷、陶瓷-金属复合材料或金属制造方法或技术，以及通过任何合适的粘结将分离的组件组装起来和将它们固定在一起，例如但不限于，机械（例如压缩工具）或化学（例如，熔化、焊接、镶嵌或其组合）。制造预制件 10 的示例性方法包括钻出通道，通过模具挤出形成通道，折叠起起皱的板，机械或化学粘结组件以形成预制件 10。

在优选的具体实施方案中，预制件 10 是蜂窝状，其可以是任意的外形，包括不太类似于扁平表面（例如半球状和增加的中心部分的端。通道 40 可以具有图 2 所示的任何通道长度 80。典型地，通道长度 80 可以是最小通道直径的至少约 2 倍。当然，通道长度 80 也可以是超过最小通道直径几倍、10 倍或 20 倍。然而，在某些点上，通道长度 80 也可以是太长或太窄，以使它们不可以被嵌入的陶瓷粉末 90 容易地填充。

嵌入通道 40 的陶瓷粉末 90 可以是任意适用于制造陶瓷-金属复合材料的陶瓷粉末，例如本领域公知的那些陶瓷粉末，只要所述陶瓷粉末一般由至少约 10 体积%的反应性陶瓷粉末组成。陶瓷粉末 90 可以是硼化物、氧化物、碳化物、氮化物、硅化物或其组合。所述组合包括，例如硼碳化物、氧氮化物、氧碳化物和碳氮化物。优选的陶瓷包括 SiC、B_4C、Si_3N_4、Al_2O_3、TiB_2、SiB_6、SiB_4、AlN、ZrC、ZrB 和其组合。陶瓷粉末 90 由反应性陶瓷组成。反应性陶瓷是指其在渗透或接下来的热处理过程中与渗入的熔化金属反应，从而形成反应性陶瓷和渗入的金属（通道金属 160）的陶瓷反应产物。优选地，陶瓷粉末 90 由优选增加的至少 50 体积%、60 体积%、70 体积%、80 体积%、90 体积%、95 体积%的反应性陶瓷粉末组成。在最优选的具体实施方案中，陶瓷

粉末 90 是单独的反应性陶瓷粉末，其可以是反应性粉末的组合。

嵌入的陶瓷粉末 90 也可以与金属粉末 91 混合，所述金属粉末 91 例如有助于将熔化的金属渗入通道 40 中以形成通道陶瓷金属复合材料 150。优选金属粉末 91 在熔化金属的渗入过程中基本上不熔化。本文中基本上不熔化是指金属粉末 91 至多在金属粉末 91 的表面熔化，这可能是由于来自熔化金属中的元素的表面合金化而导致。含有嵌入的陶瓷粉末90的金属粉末91的量一般至多为陶瓷粉末90的约70体积%。优选地，当存在金属粉末时，金属粉末的量至多为包括金属粉末 91 的嵌入粉末 90 的总量的约 50 体积%，更有选至多为约 30 体积%，甚至更优选至多为约 15 体积%和最优选至多为约 10 体积%。

可以通过任何合适的方法将陶瓷粉末 90 嵌入通道 40 中。陶瓷粉末 90 可以干嵌入，与液体或塑料结合嵌入。例如，如果陶瓷粉末 90 是干燥的，可以将其倒入通道 40 中，并且可以通过对预制件的震动或振荡的应用有助于通道填充。

可选择地，通过混合陶瓷粉末 90 和液体，可以嵌入陶瓷粉末 90，由此悬浮液的粘度足够低，以使得其易于倾倒、注射或喷进通道 40 中，并移除液体介质，示例性的方法描述在美国专利 No.4,200,604 和 No.6,803,015 中。在另一个方法中，可以通过使用本领域公知的那些合适方法形成塑性体来嵌入陶瓷粉末 90，以通过添加有机添加剂（例如，分散剂，润滑剂和粘合剂）和将浆注射进通道中来挤出陶瓷，如 J. Reed，John Wiley 和 Sons，NY，1988 的 Introduction to the Principles of Ceramic Processing 的第 21 章中所述。

当使用陶瓷粉末 90 和具有低粘度的分散液的混合物时，该混合物一般地具有足够的流动性以致可以嵌入预制件 10 的通道 40 的一端，然后流过通道 40 并在通道 40 的另一端收集，例如仅在重力的作用下。因此，混合物可以例如在壁 20 和/或 30 上沉积一层陶瓷粉末 90，或者完全填充通道40。当使用这种方法时，混合物的粘度一般至多为约 1000 厘泊（cp），更优选地混合物具有至多为约 200cp 的粘度，甚至更优选地至多为约 100cp 和最优选地至多为约 20cp。

分散液可以是，例如，水、任何有机液体，例如醇、脂肪族、二元醇、酮、醚、醛、酯、芳族、链烯、炔、羧酸、酰氯、酰胺、胺、

腈、硝基、硫化物、亚砜、砜、有机金属或其混合物。优选地，分散液是水、脂肪族、链烯或醇。更优选地，液体是醇、水或其组合。当使用醇时，优选为甲醇、丙醇、乙醇或其组合。最优选地，醇为丙醇。

混合物可以包含其它有用的组分，例如本领域中已知制作陶瓷悬浮液或浆的那些组分。其它有用的组分的例子包括分散剂、反絮凝剂、絮凝剂、增塑剂、消泡剂、润滑剂和防腐剂，如 J. Reed，John Wiley 和 Sons，NY，1988 的 Introduction to the Principles of Ceramic Processing 的第 10-12 章中所述的那些组分。混合物中优选的粘合剂是在分散液中溶解，但是在水中不溶的粘合剂。

混合物也可以包含粘合剂。粘合剂的例子包括纤维素醚，如 J. Reed，John Wiley 和 Sons，NY，1988 的 Introduction to the Principles of Ceramic Processing 的第 11 章中所述的那些粘合剂。优选地，粘合剂是甲基纤维素或乙基纤维素，如可从 The Dow Chemical Company 以商标 METHOCEL 和 ETHOCEL 得到的那些。优选地，粘合剂溶解在分散液中。

陶瓷粉末 90 可以填充某些或全部的通道 40，以使得在陶瓷粉末 90 嵌入通道 40 之后，可以存在部分填充的通道 105 和未填充的通道 100。优选所有的通道 40 被基本上填充。基本上填充是指不包括陶瓷粉末 90 颗粒之间的空隙，陶瓷粉末 90 占通道 40 的至少约 95 体积%。更优选地，粉末完全填充通道 40。

在另一个具体实施方案中，嵌入陶瓷粉末 90，以使其涂覆壁 20 和/或 30 至一定厚度，在通道 40 的通道长度 80 的下面留有空隙。之后，可以在剩余的体积中嵌入第二种不同的陶瓷粉末 90，以使得通道 40 从壁 20 和/或 30 至通道 40 的中心具有梯度结构。图 7 显示了一种可能的前述梯度，其中陶瓷粉末 90 由三种不同粉末组成。在该示意图中，陶瓷粉末 90A 与陶瓷粉末 90B 具有相同的粒度，但是具有不同的化学性质，陶瓷粉末 90C 与 90A 具有相同的化学性质，但是具有不同的粒度。同样地，具有涂覆在壁 20 和/或 30 上的陶瓷粉末 90 的预制件 10 可以用金属（通道金属 160）渗入，然后在通道 40 中嵌入的接下来的陶瓷粉末可以在渗入第一种金属之后涂覆在剩余的通道中。可以渗入该第二种嵌入的陶瓷粉末。每当需要时，可以重复该连续步骤，并且

优选地，直到完全填充通道 40，使其在整个通道直径 70 中具有梯度结构。

在相似的方式中，可以使用陶瓷粉末 90 部分填充通道 40，然后进一步使用具有不同化学性质、粒子堆积或粒度的另一种陶瓷粉末 90 填充，以沿通道 40 的通道长度 80 形成梯度结构。回到图 7，可以先将陶瓷粉末 90A 嵌入通道 40，然后嵌入其它粉末 90A， B 和 C，并如在前段中所述进行渗入，以沿通道长度 80 和沿通道直径、沿通道 40 的部分形成梯度结构。根据需要，可以使用填充预制件 10 的通道 40 的任何组合。例子包括，但是不以任何方式限制潜在的组合，它们是（1）至少一个通道 40 具有不同于嵌入另一个通道 40 的不同的陶瓷粉末 90，（2）嵌入在至少一个通道 40 中的陶瓷粉末 90 在通道 40 中沿通道 40 的通道长度 80 不同或沿通道 40 的整个通道直径 70 不同。当陶瓷粉末 90 的至少一个特性变化时，例如组成、化学性质、堆积、粒度或其组合，陶瓷粉末 90 不同。本文中的不同是指一种特性，例如上述的一种特性，根据测试该特性的公知标准方法在统计学上是不同的。也可以理解，不同不是指单个的微结构特征，例如金属-陶瓷复合材料中的一粒陶瓷，而一般是指比通道陶瓷-金属复合材料 150 中的陶瓷颗粒的平均粒度大至少约 10 倍的体积的区域。可以通过公知的显微方法测试该种不同，例如在抛光截面上测试陶瓷颗粒的粒度、陶瓷颗粒的堆积、化学性质等。

在优选的具体实施方案中，在至少一个通道 40 中，陶瓷粉末 90 在组成、堆积或其组合上变化。

在使用液体或聚合物介质悬浮陶瓷粉末 90 时，可以通过任何合适的方法去除悬浮介质。例如，当介质是液体时，例如水或醇，可以通过在空气中干燥，应用加热或真空干燥去除液体，或通过在预制件 10 的一端用多孔介质阻断通道 40 的末端移除液体，所述多孔介质通过毛细作用去除分散液。所述多孔介质的例子是帕里斯（Paris）石膏，例如在注浆成型陶瓷中使用的那种。为了去除任何通过蒸发干燥或毛细作用不能去除的有机液体，可以对具有嵌入的陶瓷粉末 90 的预制件 10 使用任何合适的方法，包括例如在合适大气压下加热以影响该添加剂去除的熟知方法。

参见图 8，在陶瓷粉末 90 嵌入预制件 10 的通道 40 后，熔化的金属渗入陶瓷粉末 90 中，使得在粘结到壁 20 和/或 30 上的通道 40 中形成通道陶瓷金属复合材料 150。可以通过例如本领域公知的那些任何合适的方法渗入熔化的金属（通道金属 160）。示例性的方法包括美国专利 No.5,007,475； No.5,020,584； No.5,298,469； No.5,521,016； 和 No.5,775,403 中所述的那些。

渗入金属之后，可以进一步热处理体 140 以使渗入的金属（通道金属 160）与反应性陶瓷反应。后续热处理的示例性方法描述于美国专利 No.5,298,468 和 No.5,521,016 中。

陶瓷-金属体

本发明的方法能够形成由陶瓷、金属、陶瓷-金属或其组合的基体组成的陶瓷-金属体 140，所述基体具有在基体内界定通道 40 的壁 20 和 30，其中不同于基体的壁 20 和 30 的通道陶瓷-金属复合材料 150 在基体的至少一个通道 40 中，通道陶瓷金属复合材料 150 由通道金属 160 和通道陶瓷相 170 组成，通道陶瓷相 170 由反应性陶瓷和通道金属 160 和反应性陶瓷的陶瓷反应产物组成。反应性陶瓷如上所述用于反应性陶瓷粉末。

一般地，至少约 10 体积%的反应性陶瓷与通道金属 160 反应而形成陶瓷反应产物。优选以增加的顺序，反应的反应性陶瓷的体积是至少约 15 体积%、20 体积%、30 体积%、40 体积%、50 体积%、60 体积%、70 体积%和 80 体积%。在优选的具体实施方案中，反应性陶瓷的反应程度在至少一个通道 40 或通道 40 之间不同。例如，每个通道 40 中的反应性陶瓷粉末的粒度或化学性质（例如，可以通过涂覆金属或其它陶瓷等来处理反应性粉末，以降低或加速粉末的反应性）可以不同，导致不同的反应性。同样，在通道 40 中，已经反应的反应性粉末的体积可以沿通道 40 的通道长度 80 或通道直径 70 变化。

在另一个优选的具体实施方案中，陶瓷-金属体 140 沿至少一个通道 40 的通道长度 80 的通道陶瓷-金属复合材料 150 的性能、结构、化学性质或其组合发生变化。优选以增加的顺序，至少 15 %、20 %、30 %、40 %、50 %、60 %、70 %和 80 %的通道 40 具有变化的通道陶瓷-金属复合材料 150。在最优选的具体实施方案中，所有的通道 40 具有

变化的通道陶瓷-金属复合材料 150。以类似的方式，通道陶瓷-金属复合材料 150 在通道或通道 40 的整个通道直径 70 上变化。

在一个优选的具体实施方案中，通道金属 160 选自铝、锆、钛、铜、硅、镁、上述每种的合金或其混合物。同样，优选反应性陶瓷是碳化硼，通道金属 160 由铝组成，陶瓷反应产物由至少一种选自以下的陶瓷组成：（a）AlB_2，（b）Al_4BC，（c）$Al_3B_{48}C_2$，（d）AlB_{12}，或（e）$AlB_{24}C_4$。优选地，陶瓷反应产物由至少两种这些陶瓷组成。对于这些优选的具体实施方案，还优选所有的通道 40 具有所述的通道金属或金属 160 和通道陶瓷相 170。

本发明有用性的进一步说明是部分体 140 受例如制动盘的内部轮毂的拉伸或剪切应力时，那里的通道 40 可以合意地具有高韧性的通道陶瓷金属复合材料 150（例如，与金属粉末混合的陶瓷粉末提供较高韧性的通道陶瓷-金属复合材料 150），而制动盘接触刹车片处的通道 40 可以合意地具有更耐磨的通道陶瓷金属复合材料 150（例如，几乎全陶瓷的复合材料，其可以通过单独使用反应性陶瓷粉末获得）。同样地，可以使用本发明的体 140 的插入物附在金属制动盘中。例如，该插入件可以具有较韧的通道陶瓷-金属复合材料 150，其具有基本量的金属，例如大于 50%，例如通过具有对立端的机械扣件将其安装在金属制动盘上，对立端与刹车片接触，所述刹车片几乎全是用于改进摩擦性能的陶瓷，正如上所述。

实施例

实施例 1

使用两种淤浆填充具有 2x2 mm 宽通道和 60%壁空隙率的 A 2 英寸 x2 英寸宽和 1 英寸深的莫来石蜂窝，每种淤浆填充交替的通道。莫来石蜂窝以美国专利公开 2005/0115214 所示的方式由 The Dow Chemical Company 制造。第一淤浆在 pH 为 7 的水中包含 20 体积%的 ESK 1500 B_4C 粉末（TETRABOR ESK 1500，ESK Ceramics GMBH & Co.，Kempten，Germany）。第二淤浆包含 15 体积%的混合物，所述混合物包含 90 体积%的 TiB_2（HCT 30D，得自 General Electric Company，GE Advanced Materials Unit，Wilton，CT）和 10%的 B_4C（ESK 1500）。

B_4C 的平均粒度是 3-5 微米，TiB_2 的平均粒度是 14 微米。使用细塑料管和滴管，将淤浆放置在莫来石蜂窝（方格图案）的选择的通道内。在 80℃下干燥通道填充的蜂窝 24 小时。将干燥的填充蜂窝放置在钢模具中，并在空气中加热至约 400℃。将预热的部分转移到压力铸塑装置（THT Presses，Inc.，Dayton，OH），并用约 5-10 秒将熔化的铝注射入该部分中。液态金属容易地渗入所有带有开口，形成致密壁和通道。陶瓷-金属部分由两种陶瓷-金属通道组成，这些陶瓷-金属通道由铝-莫来石复合材料的连续网络隔开。第一组通道具有含铝金属、碳化硼和陶瓷反应相 AlB_2 和固态溶液相 $Al_{(3-4)}BC$ 的陶瓷金属复合材料，其它组通道具有含 Al、TiB_2、B_4C 和陶瓷反应相 AlB_2 的陶瓷-金属复合材料。

实施例 2

应用如实施例 1 所述的相同方法，除了使用变化尺寸的反应性 B_4C 颗粒在从底至顶的 5 个层中填充通道。通过混合各种比例的两种级别的 B_4C 粉末来获得变化的尺寸（TETRABOR F1200 和 F180，ESK Ceramics GMBH & Co.，Kempten，Germany）。将粉末干燥地嵌入通道中，并在引入每层后，轻拍和振荡整个蜂窝约 10 秒以增加颗粒堆积。每层的厚度为约 2 毫米。从一端开始的层的粉末组成为：（Ⅰ）100% F1200，（Ⅱ）75% F1200：25% F-180，（Ⅲ）50% F1200：50% F180，（Ⅳ）25% F1200：75% F-180 和（Ⅴ）100% F180。渗入后，在 700℃热处理陶瓷金属体 10 小时。陶瓷金属体具有从一面约为 1100Kg.mm^2 至另一面约为 400 kg/mm2 的维克斯硬度（Vickers hardness）变化的分级结构。

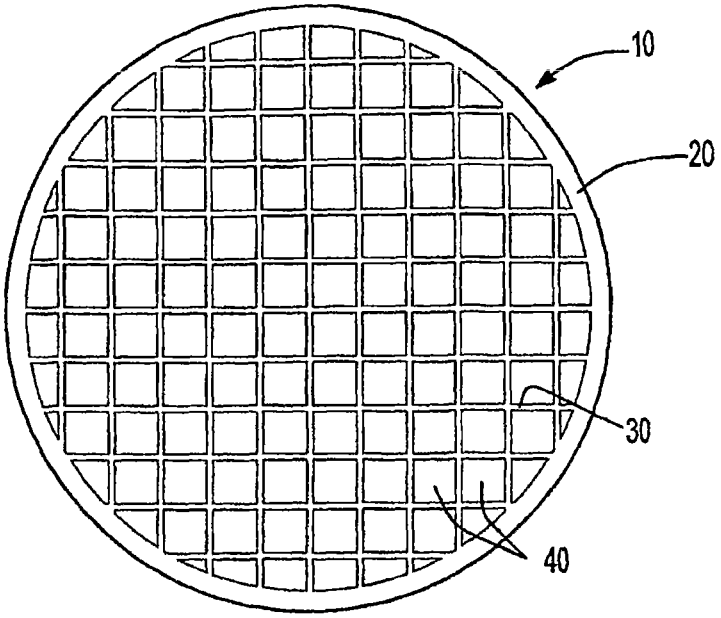


图 1

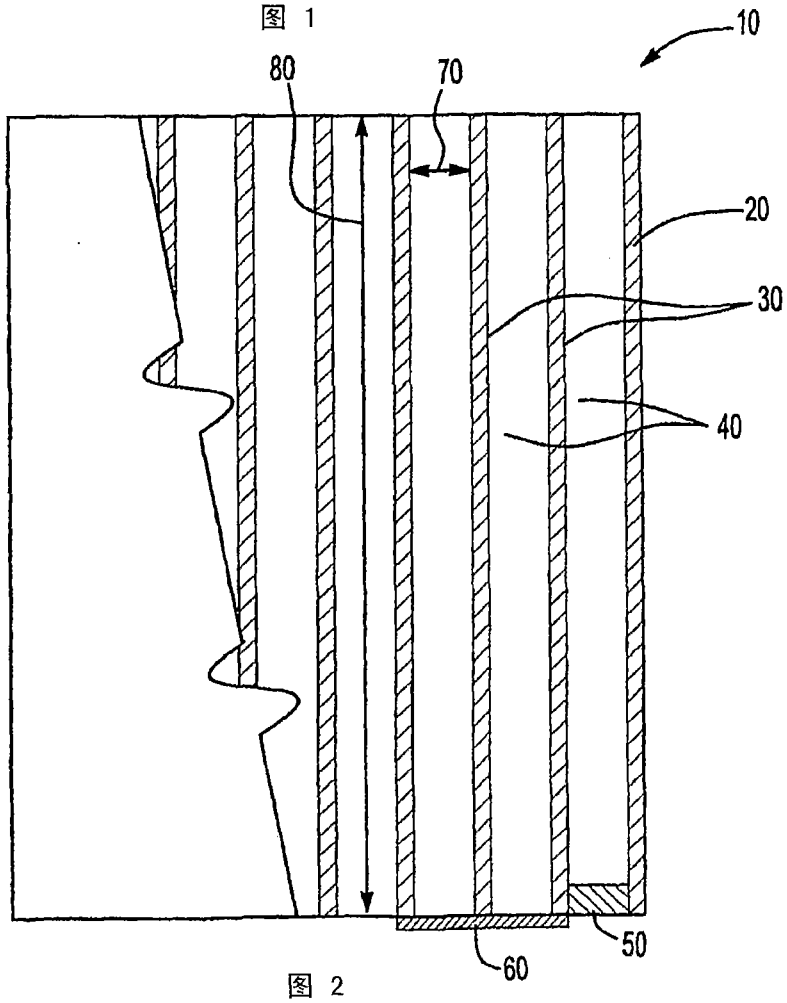


图 2

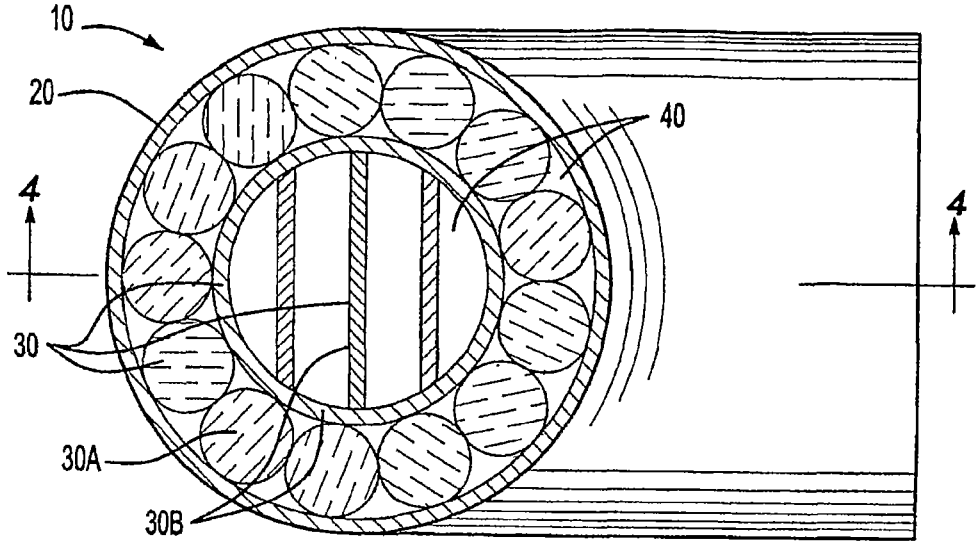


图 3

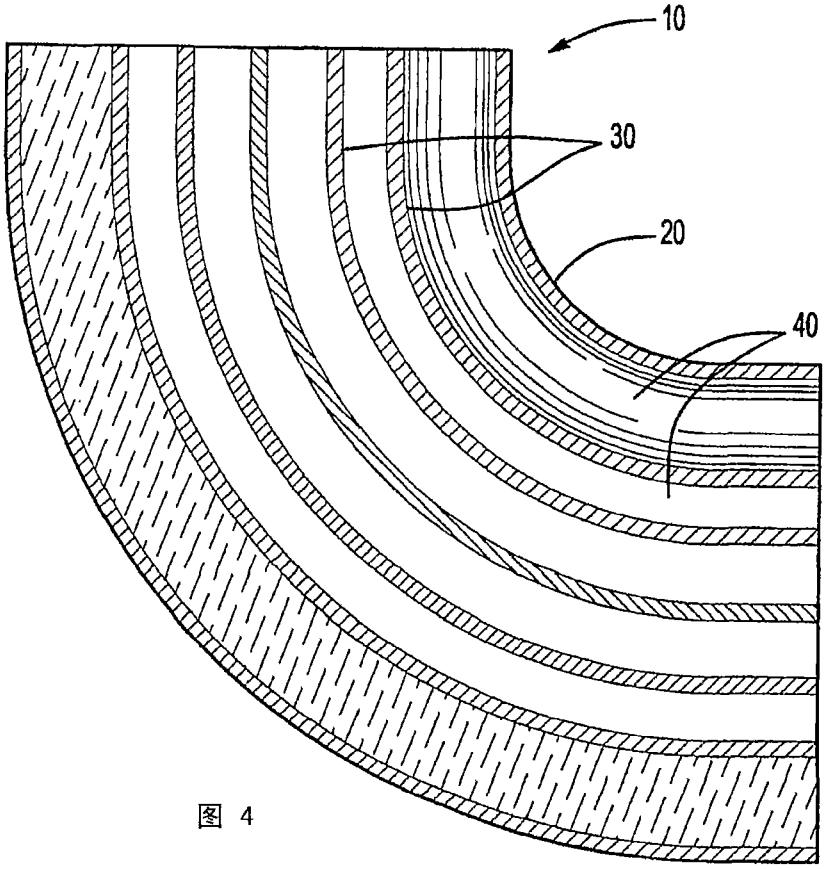


图 4

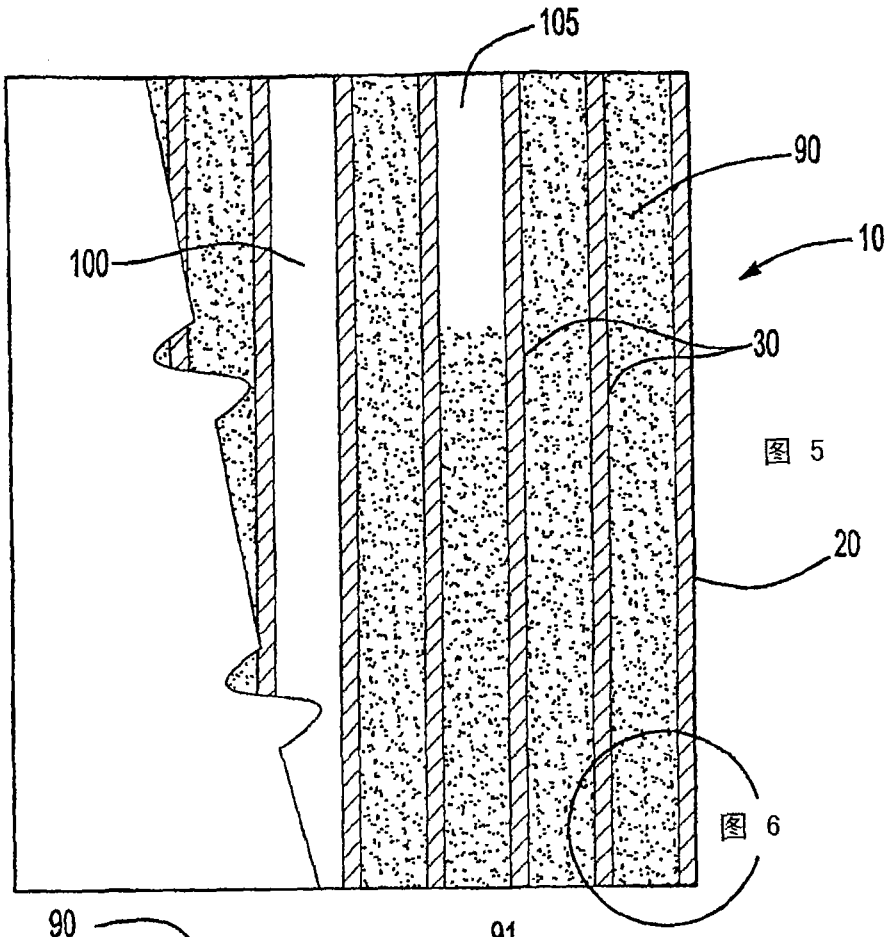


图 5

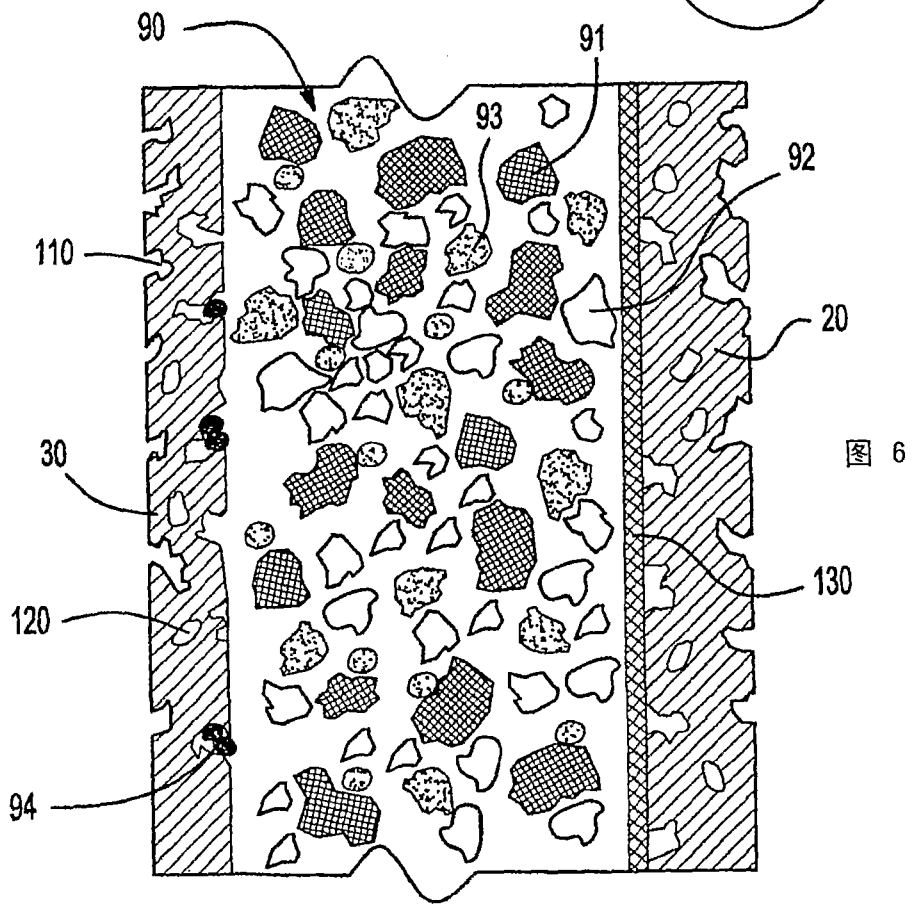


图 6

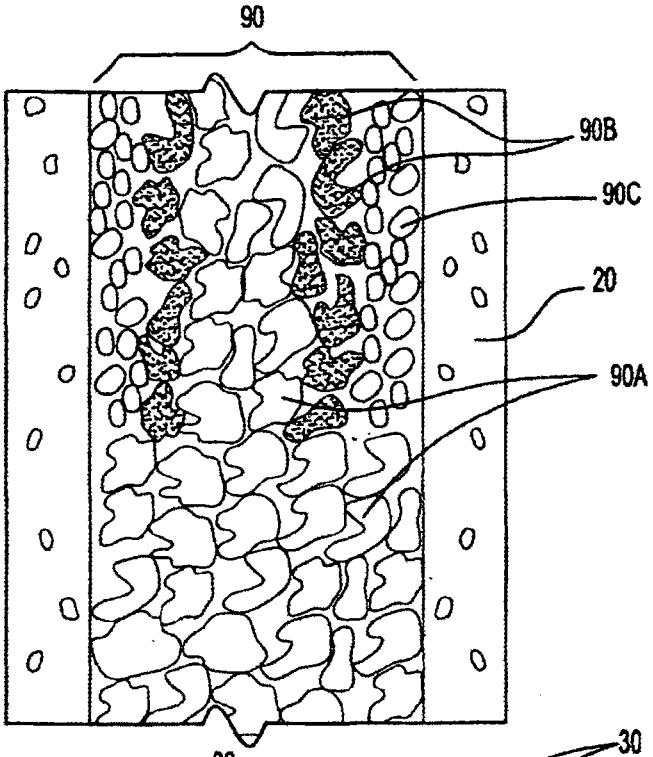


图 7

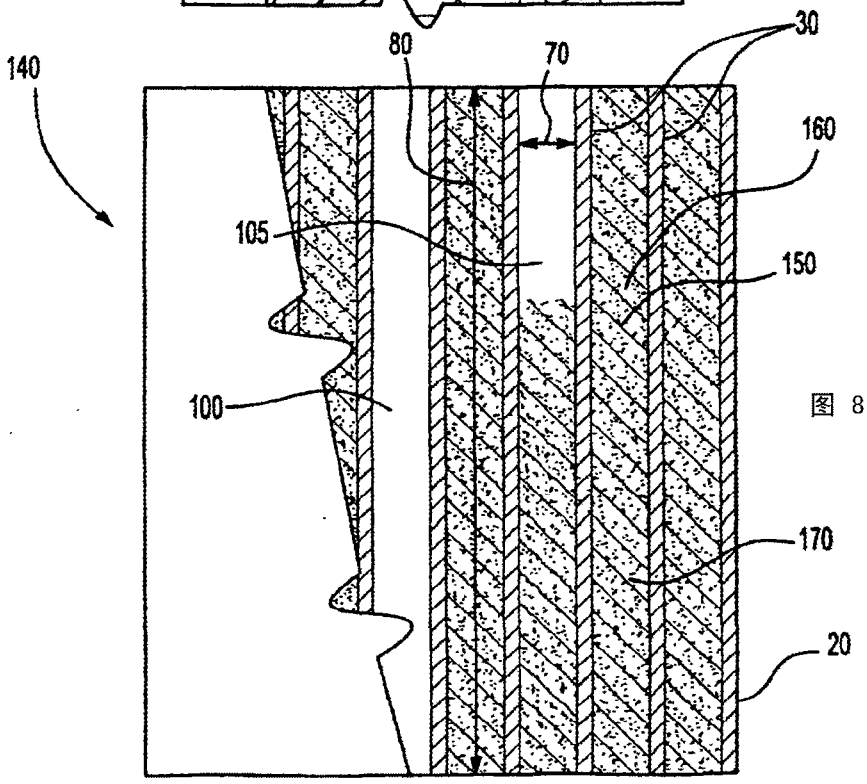


图 8