



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107073820 A

(43)申请公布日 2017.08.18

(21)申请号 201580055911.7

(22)申请日 2015.10.15

(30)优先权数据

62/064,045 2014.10.15 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2017.04.14

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2015/055644 2015.10.15

(87)PCT国际申请的公布数据

W02016/061302 EN 2016.04.21

(71)申请人 艾克斯温有限责任公司

地址 美国宾夕法尼亚州

(72)发明人 R·D·克拉克 D·P·图克

T·G·帕斯特瑞克 B·凯瑞

T·利兹

(74)专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司 31100

代理人 江磊 郭辉

(51)Int.Cl.

*B29C 64/153*(2017.01)

*B22F 5/10*(2006.01)

*B28B 1/00*(2006.01)

*B33Y 10/00*(2015.01)

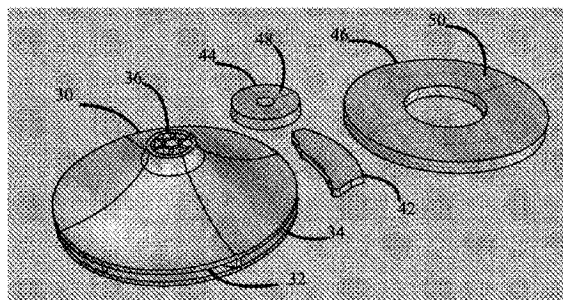
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

## (54)发明名称

用于控制三维打印制品的空腔在热处理期间的翘曲的方法

## (57)摘要

本发明涉及用于控制3DP BJ制品的热处理期间的翘曲的方法,所述3DP BJ制品具有从外表面向内延伸的空腔,其中3DP BJ制品由构造粉末3DP BJ打印,适于可接触式地插入至3DP BJ制品的空腔中的3DP BJ物体也是如此。对3DP BJ制品空腔表面的至少一部分和/或3DP BJ物体的表面的至少一部分进行处理以防止3DP BJ物体在热处理期间结合至3DP BJ制品。3DP BJ物体被插入至3DP BJ制品空腔中,3DP BJ制品和3DP BJ物体经热处理以将3DP BJ制品转变成所需的制品本身以及将3DP BJ物体转换成经热处理的3DP BJ物体。从制品中移除经热处理的3DP BJ物体。



1. 用于制作具有从外表面向内延伸的空腔的制品的方法,该方法包括以下步骤:
  - a) 用构造材料3DP BJ打印3DP BJ制品,其中,3DP BJ制品是所述制品的3DP BJ形式;
  - b) 用构造材料3DP BJ打印3DP BJ物体,该物体适于可接触式地插入至3DP BJ制品的所述空腔中;
  - c) 对空腔表面的至少一部分和3DP BJ物体的表面的至少一部分中的至少一方进行处理,以防止3DP BJ物体在步骤(e)期间与3DP BJ制品结合;
  - d) 将3DP BJ物体插入至3DP BJ制品空腔中;
  - e) 对3DP BJ制品和3DP BJ物体进行热处理以分别使3DP BJ制品转变成制品以及使3DP BJ物体转变成经热处理的3DP BJ物体;以及
  - f) 从制品中移除经热处理的3DP BJ物体。
2. 如权利要求1所述的方法,其中,所述构造材料是金属粉末。
3. 如权利要求1所述的方法,其中,所述构造材料是陶瓷粉末。
4. 如权利要求1所述的方法,其中,所述构造材料包含选自碳粉末和石墨粉末中的至少一种。
5. 如权利要求1所述的方法,其中,所述热处理步骤包括烧结所述3DP BJ制品。
6. 如权利要求1所述的方法,其中,所述热处理步骤包括用可固化液体材料浸润所述3DP BJ制品。
7. 如权利要求6所述的方法,其特征在于,所述可固化液体材料在所述制品的通常使用温度下为固体。
8. 如权利要求1所述的方法,其中,步骤(c)包括用涂覆材料涂覆3DP BJ物体,所述涂覆材料适于防止3DP BJ物体在步骤(e)期间结合至3DP BJ制品。
9. 如权利要求8所述的方法,其中,所述涂覆材料包含氮化硼。
10. 如权利要求1所述的方法,其中,所述制品是密闭的叶片转子。
11. 如权利要求1所述的方法,该方法还包括以下步骤:
  - g) 用构造材料3DP BJ打印3DP BJ体,该3DP BJ体具有与3DP BJ制品的第一表面匹配的第一表面;
  - (h) 处理3DP BJ体和3DP BJ制品各自的第一表面中的至少一方,以防止3DP BJ体在步骤(e)期间结合至3DP BJ制品;以及
  - (i) 在步骤(e)期间至少将3DP BJ制品的第一表面部分地支撑在3DP BJ体的第一表面上。
12. 如权利要求11所述的方法,其中,步骤(h)包括用涂覆材料涂覆3DP BJ物体,所述涂覆材料适于防止3DP BJ物体在步骤(e)期间结合至3DP BJ物体。
13. 如权利要求1所述的方法,其中,所述3DP BJ物体具有在3DP BJ物体已被插入至3DP BJ制品空腔中时延伸到3DP BJ制品空腔外部的把手部分。
14. 如权利要求1所述的方法,该方法还包括在步骤(e)期间将3DP BJ制品支撑在粉末床中,其中,所述粉末床包含可流动粉末,并且所述3DP BJ物体具有适于允许粉末流过3DP BJ物体的孔。

## 用于控制三维打印制品的空腔在热处理期间的翘曲的方法

[0001] 背景

[0002] 发明领域本发明涉及用于控制三维打印制品的空腔在热处理期间的翘曲的方法，其中，空腔从制品的表面向内延伸。

[0003] 发明背景

[0004] 对于制造复杂的几何制品而言特别有吸引力的三维打印工艺有三维粘合剂喷射打印工艺。该工艺有时被称为“三维喷墨打印工艺”，因为使用类似于喷墨打印所用的打印头进行粘合剂喷射。为简洁起见，术语“3DP BJ工艺”在下文中指三维打印粘合剂喷射工艺，由3DP BJ工艺制造的打印制品在下文中将称作“3DP BJ制品”，并且使用3DP BJ工艺制造3DP BJ制品在下文中将被称为“3DP BJ打印”制品。例如，使用3DP BJ工艺制作粘合剂结合颗粒形式的转子在本文中将被称为“3DP BJ打印3DP BJ转子”。3DP BJ制品在许多情况下经过热处理以将3DP BJ制品转变为所需的制品本身。该转变伴随着显著的强度增加。

[0005] 出于经济原因，期望使用3DP BJ工艺来制造具有一个或多个从制品的表面向内延伸的空腔的制品。这种空腔可终止于制品内，即盲腔，或者可以穿过制品延伸到制品的另一个表面和/或可以与其它的空腔连接。在许多情况下，这种空腔由一个或多个壁（无论是被称为侧壁、顶壁或底壁）限定，所述壁可以具有与其跨度相比相对较薄的厚度。由于3DP BJ制品的结构特征比它们热处理之后的状态（即制品本身）更弱，所以在热处理期间，一些空腔（或同样地，它们的壁）易受由重力引起的几何变形的影响。这种几何变形在本领域中有时被称为“塌陷”或“塌陷翘曲”，并将在下文中简称为“翘曲”。在一些情况下，这种翘曲的产生使得无法使用3DP BJ工艺来制造制品。因此，在本领域中需要避免产生这种翘曲。

### 发明内容

[0006] 本发明通过提供用3DP BJ打印和随后的热处理制造具有从外表面向内延伸的空腔的制品的方法来改善上述翘曲问题。根据这些方法，用构造粉末3DP BJ打印3DP BJ制品，适于可接触式地插入至3DP BJ制品的空腔中的3DP BJ物体也是如此。术语“可接触式地插入”应被解释为表示3DP BJ物体的至少一部分可以插入至3DP BJ制品的空腔中，具体方式为使得3DP BJ物体的外表面的至少相对的部分接触空腔表面的至少相对的部分，该接触方式向3DP BJ制品空腔的较高的接触壁提供结构支撑，以防止热处理期间产生翘曲。另外根据这些方法，对3DP BJ制品空腔表面的至少一部分和/或3DP BJ物体表面的至少一部分进行处理以防止3DP BJ物体在热处理期间结合至3DP BJ制品。此外，根据这些方法，将3DP BJ物体插入至3DP BJ制品空腔中，对3DP BJ制品和3DP BJ物体实施了热处理。热处理使3DP BJ制品转变为所需的制品本身，并使3DP BJ物体转变为经热处理的3DP BJ物体。根据这些方法，随后将经热处理的3DP BJ物体从制品中移除，即、从制品的空腔中移除。

[0007] 本发明的一些实施方式还包括3DP BJ打印具有与3DP BJ制品的表面匹配的表面的3DP BJ体，然后处理这些匹配表面中的至少一个，以防止3DP BJ体在热处理期间结合至3DP BJ制品。在这种实施方式中，3DP BJ制品的匹配表面的至少一部分在热处理期间由3DP BJ体的匹配表面的相应部分支撑。

[0008] 附图简要说明

[0009] 参照附图能够更好地理解本发明的特征和优势的重要性。但是应理解,附图用于说明本发明的目的而不应被理解为对本发明构成限制。

[0010] 图1是根据一种实施方式的具有空腔和两个可插入物体的3DP BJ制品的示意性透视图。

[0011] 图2是在两个可插入物体已经被接触式地插入至空腔中之后的图1的制品和两个可插入物体的示意性透视图。

[0012] 图3是根据一种实施方式的(a)具有多个空腔的另一个3DP BJ制品、(b)可插入物体和(c)两个支撑件的示意性透视图。

[0013] 图4是图3的3DP BJ制品的示意性侧视图。

[0014] 图5是在可插入物体已经被接触式地插入至制品的一个空腔中并且制品的底表面已经处于与两个支撑件的顶表面支撑接触后的图3的3DP BJ制品、可插入物体和支撑件的示意性透视图。

[0015] 图6是具有多个适于允许可流动支撑粉末流过的孔的第二矩形可插入物体的示意性透视图。

[0016] 优选实施方式

[0017] 在本节中详细描述本发明的一些优选实施方式,足以使本领域技术人员无需过多的实验便可实施本发明。然而,应理解,本文描述的有限数量的优选实施方式的事项不以任何方式限制权利要求中阐述的本发明的范围。应理解,在本文或权利要求中描述数值范围时,该范围包括端点及其之间的每个点,如同每个这样的点已被明确描述。除非另有说明,本文和权利要求中使用的术语“约”应被解释为表示与“约”一词所修饰的值相关的正常测量值和/或制造限制。除非另有明确说明,术语“实施方式”在本文中用于表示本发明的实施方式。

[0018] 应理解,在本发明的范围内,本文描述的方法的实施方式可用于制造单个制品或同时制造多个制品。然而,为简洁起见,以下优选实施方式的描述仅涉及制作单个制品。

[0019] 应理解,虽然本发明基于具有一个空腔的制品进行描述,但是本发明并不限于仅具有单个从外表面向内延伸的空腔的制品。本发明包括具有一个或多个空腔的制品,并且空腔可彼此相同或不同,而且空腔可以相互连接。还应理解,任意这种空腔可以是连通空腔或盲腔。

[0020] 应理解,本文的术语“粉末”在本领域中有时也被称为“颗粒材料”或“颗粒”,并且术语“粉末”在本文中被解释为以任意名称在3DP BJ工艺中用作层形成材料的任意材料,在其上沉积粘合剂以形成所需制品。粉末可包括能够采取粉末形式的任何类型的材料,例如金属、塑料、陶瓷、碳、石墨、复合材料、矿物等。

[0021] 还应理解,本发明可以与任意类型的具有从外表面向内延伸的空腔的制品一起使用。

[0022] 基础的3DP BJ工艺是马萨诸塞理工学院在二十世纪九十年代开发的,并在数项美国专利中进行了描述,包括以下美国专利:授予Sachs等人的5,490,882号,授予Cima等人的5,490,962,授予Cima等人的5,518,680,授予Bredt等人的5,660,621,授予Sachs等人的5,775,402,授予Sachs等人的5,807,437,授予Sachs等人的5,814,161,授予Bredt的5,851,

465,授予Cima等人的5,869,170,授予Sachs等人的5,940,674,授予Sachs等人的6,036,777,授予Sachs等人的6,070,973,授予Sachs等人的6,109,332,授予Sachs等人的6,1112,804,授予Vacanti等人的6,139,574,授予Sachs等人的6,146,567,授予Vacanti等人的6,176,874,授予Griffith等人的6,197,575,授予Monkhouse等的6,280,771,授予Sachs等人的6,354,361,授予Sachs等人的6,397,722,授予Sherwood等人的6,454,811,授予Yoo等人的6,471,992,授予Sachs等人的6,508,980,Monkhouse等人的6,514,518,授予Cima等的6,530,958,授予Sachs等人的6,596,224,授予Sachs等人的6,629,559,授予Teung等人的6,945,638,授予Sachs等人的7,077,334,授予Sachs的7,250,134,授予Payumo等人的7,276,252,授予Pryce等的7,300,668,授予Serdy等人的7,815826,授予Pryce等的7,820,201,授予Payumo等的7,875,290,授予Pryce等人的7,931,914,授予Wang等人的8,088,415,授予Bredt等的8,211,226,以及授予Wang等人的8,465,777号。

[0023] 大体上,3DP BJ工艺涉及一层粉末的铺展,然后选择性地将流体喷墨印刷到该层上,以使该粉末层的选定部分粘合在一起。对其他的层重复该步骤,直到构建了所需的制品。构成粉末层的材料通常被称为“构造材料”或“构造材料粉末”,并且喷射的流体通常被称为“粘合剂”,或者在某些情况下称为“活化剂”。在3DP BJ工艺的过程中,不通过粘合剂结合在一起的粉末层的部分在制造的一个或多个制品周围形成支撑粉末床,即“构造材料粉末床”。

[0024] 有时需要对3DP BJ制品进行热处理,以使3DP BJ制品强化和/或致密化。通常,热处理的第一部分会加热3DP BJ制品,同时该制品仍然被粉末床支撑,以使粘合剂固化。在第一部分之后从粉末床中移除3DP BJ制品,热处理的第二部分可包括将3DP BJ制品加热至足以将3DP BJ制品的粉末烧结在一起的温度。例如,当使用金属粉末作为构造材料时,后处理有时包括将金属粉末烧结在一起和/或用熔融金属浸渍烧结后的多孔制品,例如通过转接器2上的浸渍杆26(见图2)。

[0025] 在一些实施方式中,用构造粉末3DP BJ打印3DP BJ制品,适于可接触式地插入至3DP BJ制品的空腔中的3DP BJ物体也是如此。对3DP BJ制品空腔表面的至少一部分和/或3DP BJ物体的表面的至少一部分进行处理以防止3DP BJ物体在热处理期间结合至3DP BJ制品。将3DP BJ物体接触式地插入至3DP BJ制品空腔中,对3DP BJ制品和3DP BJ物体进行了热处理。3DP BJ制品在热处理期间由粉末床支撑。热处理将3DP BJ制品转变为所需的制品本身,并将3DP BJ物体转变为经热处理的3DP BJ物体,该物体随后从制品空腔中移除。

[0026] 相对于使用刚性可插入物体,在热处理期间使用插入的3DP BJ物体来提供支撑的优点在于3DP BJ物体的表面移动且3DP BJ物体在热处理期间收缩的方式非常类似于其所接触并插入至空腔的3DP BJ制品表面。相比之下,即使刚性可插入物体在初始、中间或最终适配空腔,也不会像3DP BJ体表面或空腔收缩的方式那样沿着3DP BJ制品表面移动。

[0027] 现参照图1和图2描述第一优选实施方式。图1是3DP BJ制品(即,3DP BJ流通通道弯折转接器2)的示意性透视图。转接器2具有从转接器2的圆形端部6向内延伸以及从转接器2的矩形端部8向内延伸的连续空腔4。图1还示出了3DP BJ圆形物体10的透视图,其适于在圆形端部6处可接触式地插入至空腔4中,以及3DP BJ矩形物体12的透视图,其适于在矩形端部8处可接触式地插入到空腔4中。圆形物体10和矩形物体12由与转接器2相同的构造粉末制成。需注意,圆形物体10和矩形物体12各自具有颈部,即圆形颈14和矩形颈16,分别

适于在相应的圆形端部6和矩形端部8处可接触式地插入空腔4中。还需注意,圆形物体10和矩形物体12各自具有边缘部分,即圆形边缘18和矩形边缘20,其分别保持在空腔4的外部。

[0028] 图2是圆形物体10已经在圆形端6处接触式地插入空腔4(不可见)中以及矩形物体12已经在矩形端部8处接触式地插入空腔4之后的转接器2的示意性透视图。需注意,圆形物体10具有沟槽22,其可用于插入工具以帮助在空腔4中放置圆形物体10和/或从空腔4中移除圆形物体10。类似地,矩形物体12具有把手24,其可以用于帮助在空腔4中放置矩形物体12和/或从空腔4中移除矩形物体12。

[0029] 应理解,尽管图1中示出的圆形和矩形颈14,16只能以短距离插入空腔4,但是本发明的范围还包括物体的以下部分:可接触式地插入制品的空腔中并延伸至制品空腔中的任何所需的深度以防止在热处理期间发生翘曲。在一些情况下,空腔的几何形状将限制物体能够延伸到空腔中的深度。在任何情况下,物体延伸到空腔中的深度与基于在未使用该物体情况下预期的翘曲的设计选择。

[0030] 在将圆形和矩形体10,12接触式地插入空腔4之前,对空腔4的表面的至少一部分和/或圆形和矩形体10,12各自的表面的至少一部分进行处理以防止圆形和矩形体10,12在热处理期间结合至转接器2。在一些实施方式中,处理包括用界面材料(例如氮化硼)涂覆所选择的表面,所述界面材料防止物体和制品之间的相互扩散或反应。在一些实施方式中,处理包括在所选择的表面施涂材料(例如还原或氧化材料),这将使表面自身对物体和制品之间的相互扩散或反应变得相对惰性。当施用细粉末形式的界面材料(例如氮化硼)时,使界面材料悬浮在可蒸发液体中然后将悬浮液涂覆到待涂覆的表面上是有利的。当使用这种悬浮液时,将表面加热到接近或高于可蒸发液体的正常沸点的温度以防止液体浸渍到3DP BJ制品、体或物体中,这也是有利的。

[0031] 如上所述,3DP BJ制品在热处理期间被粉末床支撑。粉末床可包括任何满足以下条件的粉末:所述粉末能够向3DP BJ制品提供支撑并且在整个热处理中保持可流动,从而在热处理完成后可以从制品中移除。优选粉末床粉末在热处理期间不与3DP BJ制品反应,但是在某些情况下、特别是制品的表面将在随后经受喷砂清洁、机械清洁、磨损清洁和/或化学清洁的情况下,可以容许少量的反应。当热处理包括固化粘合剂的初始阶段时,粉末床优选是构造材料粉末床,并且固化的3DP BJ制品随后从构造材料粉末床中移除,以在另一个动力床(power bed)中进一步热处理。

[0032] 粉末床优选填充3DP BJ制品的空腔,包括填充插入了可插入物体的空腔。在一些实施方式中,优选在空腔的入口的上方设置一个粉末储存器,使得在热处理期间的可能发生的任何沉降过程中支撑粉末可以流入空腔。在空腔的所有端部被封闭的实施方式中,例如如图2所示的实施方式中,优选支撑粉末松散地填充空腔,因为支撑粉末的密集装填可能不利地限制热处理期间空腔的收缩。

[0033] 向可插入物体提供一个或多个孔以允许支撑粉末流过该孔的方案也在本发明的范围内。这种孔的尺寸和位置应使其不影响空腔翘曲控制所需的可插入物体的支撑功能。参考图6,示出了3DP BJ第二矩形物体60,其被设计为替代图1和2所示的矩形物体12。第二矩形物体60具有多个孔(例如孔62,64,66,68),其适于在第二矩形物体已插入空腔4(参照图1)后允许支撑粉末穿过第二矩形物体60,同时不损害第二矩形物体60的支撑功能。

[0034] 在一些实施方式中,通过用一个或多个3DP体的一个或多个匹配表面支撑3DP BJ

制品的一个或多个外表面来改善抗翘曲性。这种实施方式包括3DP BJ打印具有与3DP BJ制品的表面匹配的表面的3DP BJ体,然后处理这些匹配表面中的至少一个,以防止3DP BJ体在热处理期间结合至3DP BJ制品。3DP BJ制品的热处理期间,3DP BJ制品的匹配表面的至少一部分由3DP BJ体的匹配表面的相应部分支撑。相比可流动粉末床,以这种方式在匹配的3DP BJ体表面上支撑3DP BJ物品表面为3DP BJ制品提供了更高程度的刚性支持。这种支撑方式相对于在刚性表面上提供支持的优点在于,3DP BJ体表面在热处理过程中以与匹配的3DP BJ制品非常相似的方式移动,而刚性表面即使在初始、中间或最终匹配,也不会如3DP BJ体表面这样以热处理补偿方式与3DP BJ制品表面一起移动。

[0035] 现将描述这种实施方式的实施例。图3和图4分别是另一3DP BJ制品(即3DP BJ封闭叶片转子30)的示意性透视图和侧视图。转子30具有多个叶片腔,例如,叶片空腔32,其从转子30的径向周向表面34向内延伸。每个叶片腔穿过转子30延伸到转子30的开放的顶端36。转子30还具有中空的轴环38,其从转子30的底面40向下延伸,使得底面40的一部分被轴环38围住。

[0036] 图3除了示出转子30之外,还示出了可接触式地插入至叶片腔32中的3DP BJ可插入物体42、3DP BJ中心支撑件44和3DP BJ底部支撑件46,其均由与转子30相同的构造粉末制成。为简洁起见,仅示出了一个3DP BJ可插入物体42,但是可以为叶片30的其它每个叶片空腔提供类似的可插入物体。

[0037] 中心支撑件44和底部支撑件的顶表面48,50分别与转子30的底表面40的相应区域匹配,它们在转子的热处理的至少部分期间用于支撑。图5示出了转子30的示意性透视图。可插入物体42已经被接触式地插入至叶片腔32中(由于可插入物体42插入其中而不可见),中心支撑件44(不可见)和底部支撑件46已被置于转子30下方就位,它们各自的顶表面48,50(不可见)与转子30的底表面40(不可见)支撑接触。可插入物体42的把手部分52延伸出转子30之外,以帮助在转子30中放置可插入物体42以及将其从转子30中取出。转子30由中心支撑件44(不可见)和底部支撑件46各自的顶表面48,50(不可见)支撑其底表面40(不可见)。中心支撑件44(不可见)位于轴环38内(不可见)。

[0038] 虽然已经阐述和说明了本发明的一些实施方式,但是对本领域技术人员显而易见的是,在不背离本发明的精神和权利要求所述的范围的情况下可以进行多种改变和改进。所有美国专利和专利申请、所有外国专利和专利申请以及本文中认定的所有其他文件在法律允许的最大范围内通过引用并入本文。

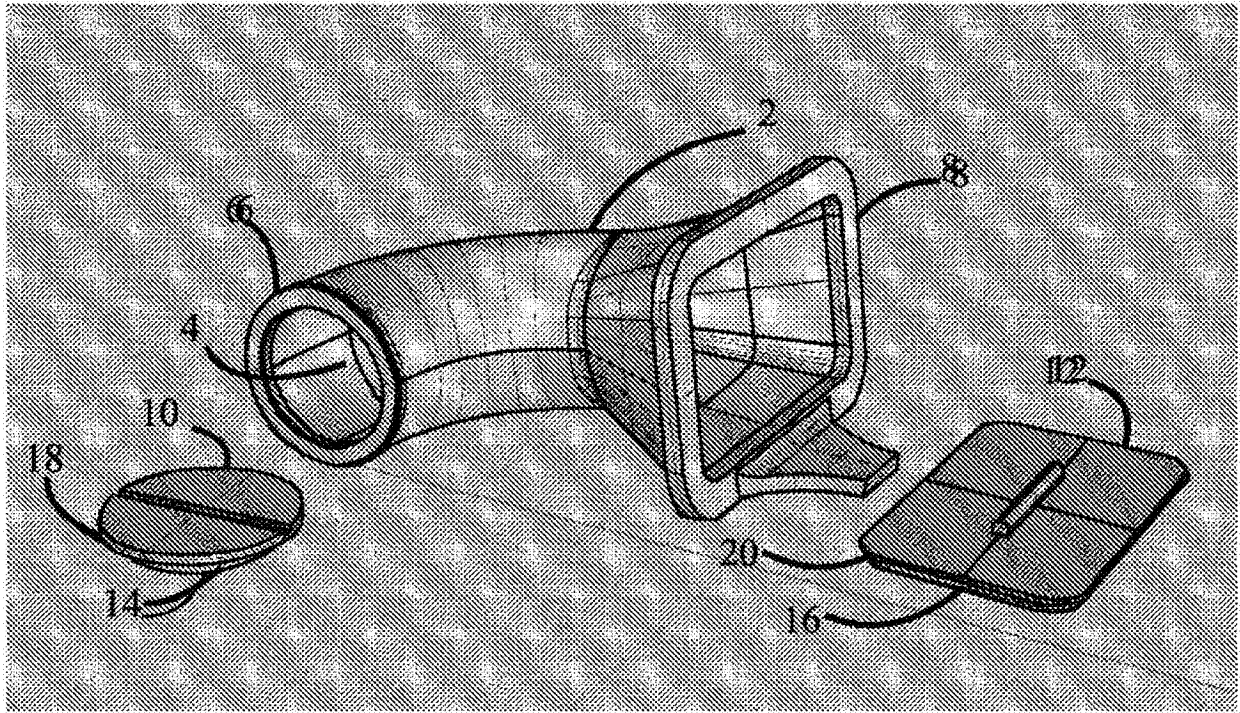


图1

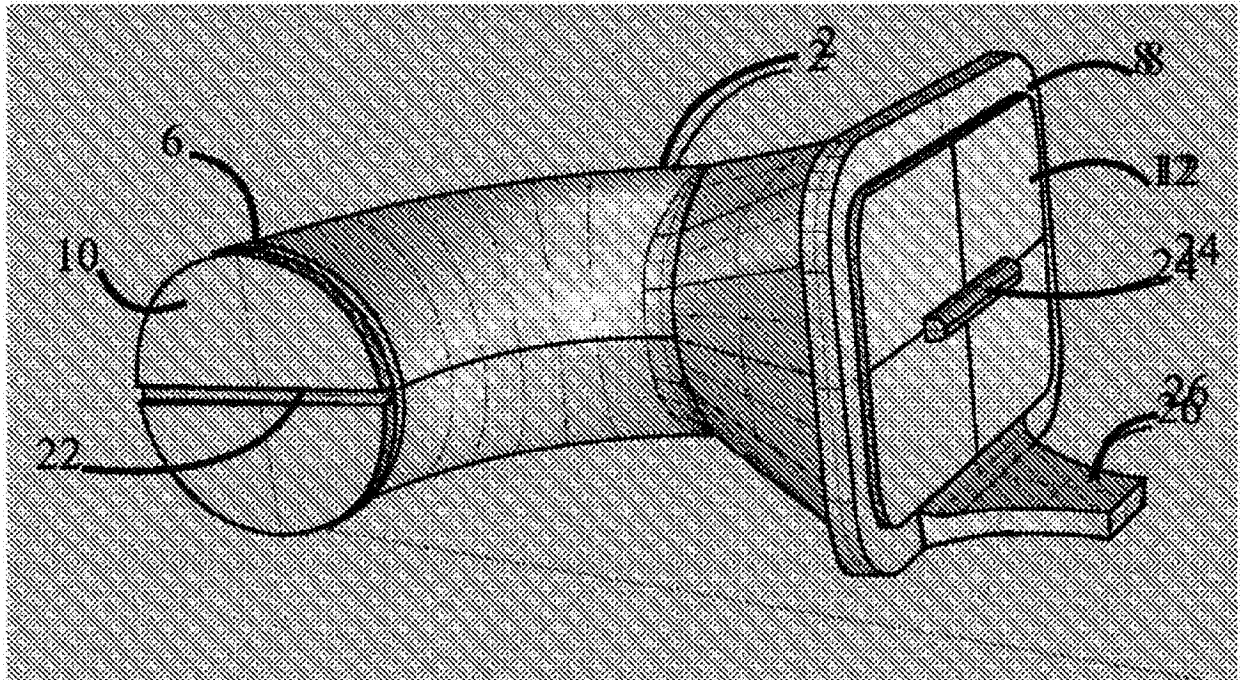


图2

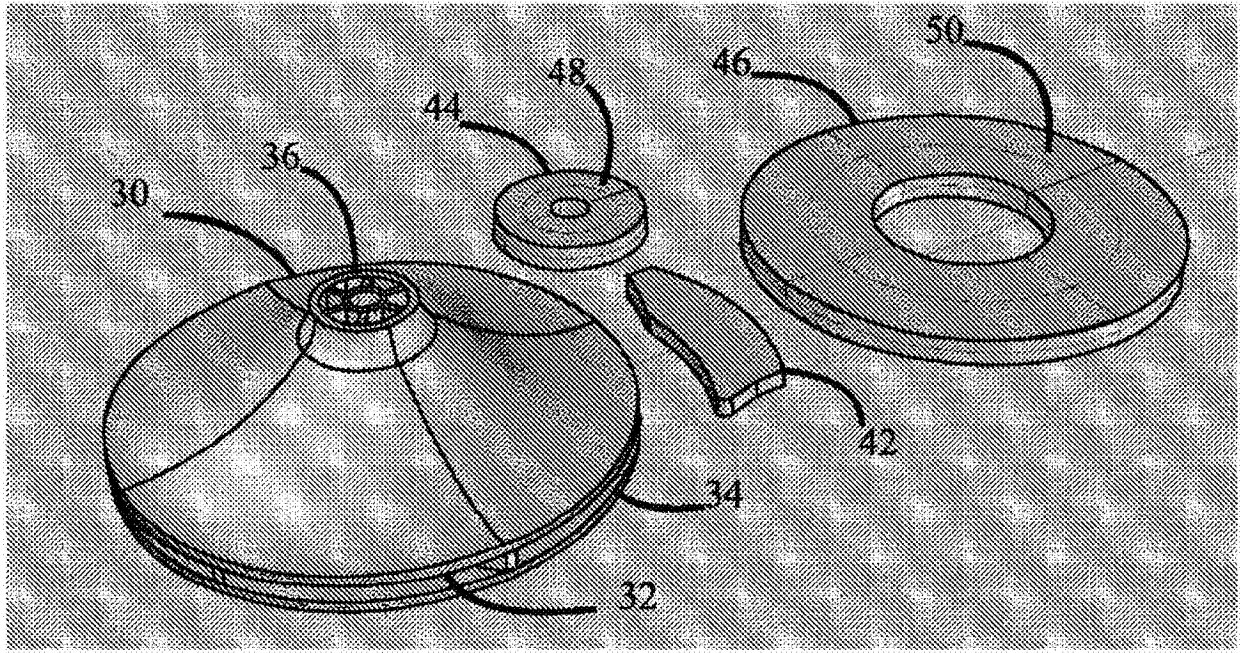


图3

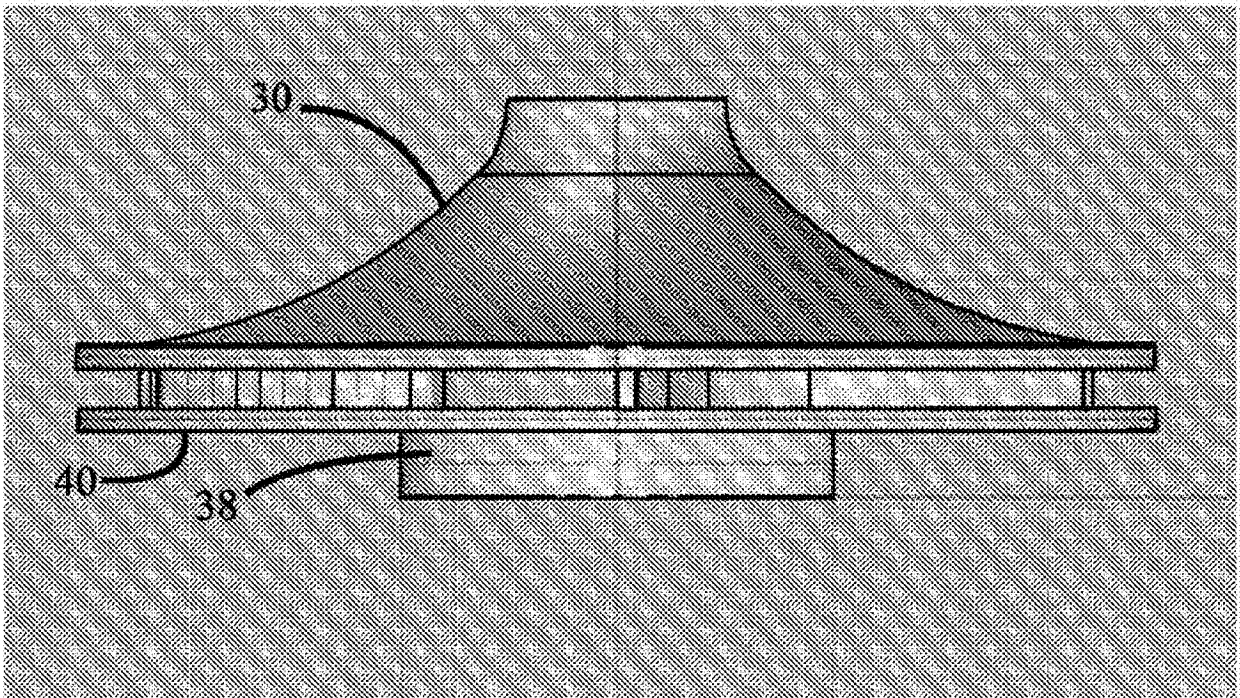


图4

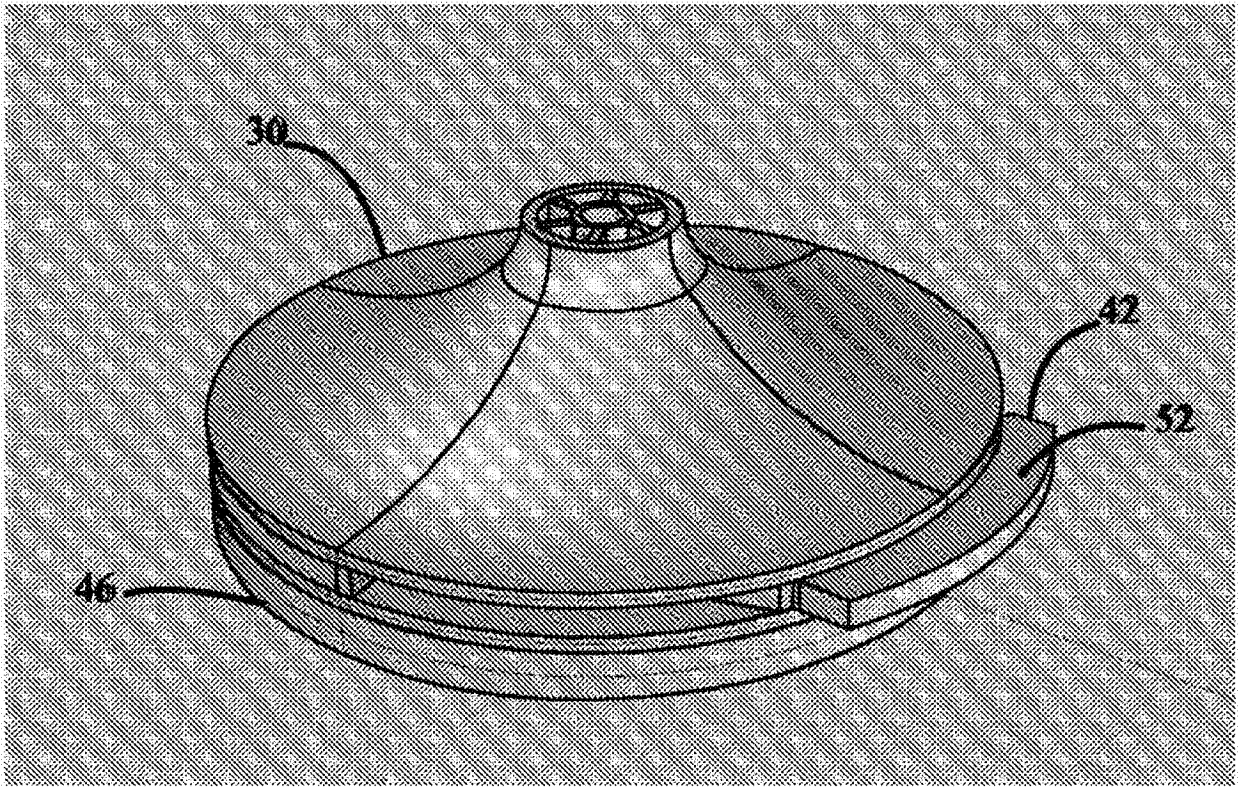


图5

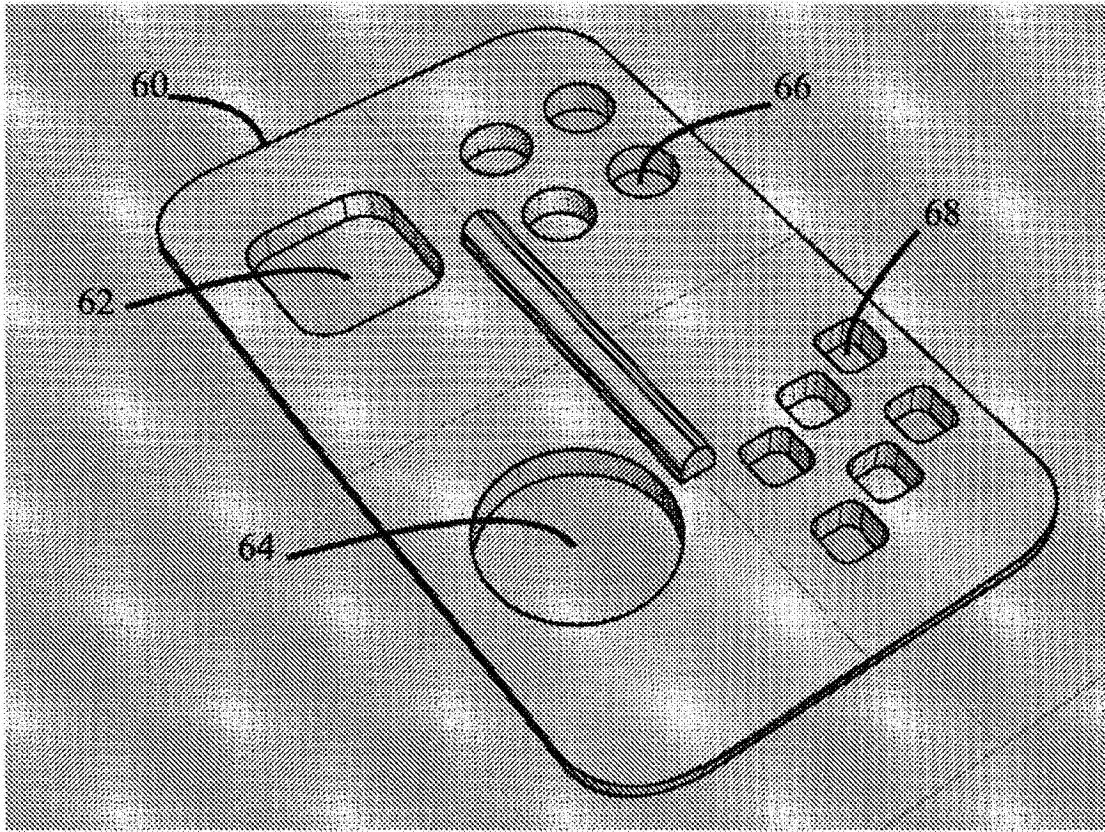


图6