



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110072651 A

(43)申请公布日 2019.07.30

(21)申请号 201780076802.2

(22)申请日 2017.10.24

(30)优先权数据

15/377,787 2016.12.13 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2019.06.12

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2017/057944 2017.10.24

(87)PCT国际申请的公布数据

WO2018/111407 EN 2018.06.21

(71)申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72)发明人 格雷戈里·特伦斯·加雷 杨西

(74)专利代理机构 上海华诚知识产权代理有限公司 31300

代理人 肖华

(51)Int.Cl.

B22D 29/00(2006.01)

B22C 9/02(2006.01)

B22C 13/08(2006.01)

B22C 9/10(2006.01)

B22C 9/24(2006.01)

B22D 29/04(2006.01)

B22D 27/04(2006.01)

B28B 1/00(2006.01)

F01D 5/16(2006.01)

G03F 7/00(2006.01)

B29C 64/124(2006.01)

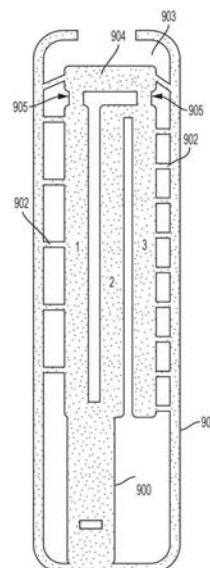
权利要求书2页 说明书9页 附图8页

(54)发明名称

用于制作具有非线性孔的铸造部件的一体式铸造芯壳结构

(57)摘要

本公开大体涉及一体式芯壳熔模铸造模具，其设置对应于涡轮叶片或定子轮叶表面中的冷却孔图案的长丝结构，在金属铸造之后为芯部分提供浸出路径。这些长丝结构可以是线性的或非线性的。本发明还涉及可以用以例如在模具的芯顶部分中补充浸出路径的芯长丝。



1. 一种制造陶瓷模具的方法,其特征在于,包含:
 - (a) 使工件的固化部分与液态陶瓷光聚合物接触;
 - (b) 通过接触所述液态陶瓷光聚合物的窗口照射所述液态陶瓷光聚合物的邻近于所述固化部分的一部分;
 - (c) 从未固化的所述液态陶瓷光聚合物中去除所述工件;以及
 - (d) 重复步骤(a) - (c),直到形成陶瓷模具为止,所述陶瓷模具包含:
 - (1) 芯部分和壳部分,在所述芯部分和所述壳部分之间具有至少一个空腔,所述空腔适配成在铸造和去除所述陶瓷模具时限定铸造部件的形状,以及
 - (2) 多个长丝,所述多个长丝连结所述芯部分和所述壳部分,其中每个长丝跨越在所述芯和所述壳之间并且在去除所述模具时在所述铸造部件中限定孔,其中,至少一个长丝包括至少一部分,所述至少一部分具有非线性几何形状和范围从0.01到2mm²的横截面面积。
2. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,其中,在步骤(d)之后,所述处理包含步骤(e),所述步骤(e)包含将液态金属倒入铸造模具中并使所述液态金属凝固以形成所述铸造部件。
3. 如权利要求2所述的方法,其特征在于,其中,在步骤(e)之后,所述处理包含步骤(f),所述步骤(f)包含从所述铸造部件中去除所述模具。
4. 如权利要求3所述的方法,其特征在于,其中,从所述铸造部件中去除所述模具包含机械力和化学浸出的组合。
5. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,其中,所述非线性几何形状在去除所述模具时形成“S”形形状的孔。
6. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,其中,所述孔以小于20°的角度离开表面。
7. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,其中,所述孔以在5°到15°的范围内的角度离开表面。
8. 一种制备铸造部件的方法,其特征在于,包含:
 - a) 将液态金属倒入陶瓷铸造模具中并凝固所述液态金属以形成所述铸造部件,所述陶瓷铸造模具包含:
 - (1) 芯部分和壳部分,在所述芯部分和所述壳部分之间具有至少一个空腔,所述空腔适配成在铸造和去除所述陶瓷模具时限定铸造部件的形状,以及
 - (2) 多个长丝,所述多个长丝连结所述芯部分和所述壳部分,其中每个长丝跨越在所述芯和所述壳之间并且在所述铸造部件中限定孔,其中,至少一个长丝包括至少一部分,所述至少一部分具有非线性几何形状和范围从0.01到2mm²的横截面面积;
 - b) 通过所述铸造部件中的孔浸出所述陶瓷芯的至少一部分,从所述铸造部件中去除所述陶瓷铸造模具。
9. 如权利要求8所述的方法,其特征在于,其中,从所述铸造部件中去除所述陶瓷铸造模具包含机械力和化学浸出的组合。
10. 如权利要求8所述的方法,其特征在于,其中,所述非线性几何形状在去除所述模具时形成“S”形形状的孔。
11. 如权利要求8所述的方法,其特征在于,其中,所述孔以在小于20°的范围内的角度离开表面。

12. 一种陶瓷铸造模具,其特征在於,包含:

芯部分和壳部分,在所述芯部分和所述壳部分之间具有至少一个空腔,所述空腔适配成在铸造和去除所述陶瓷模具时限定铸造部件的形状,以及

多个长丝,所述多个长丝连结所述芯部分和所述壳部分,其中每个长丝跨越在所述芯和所述壳之间并且在所述铸造部件中限定孔,其中,至少一个长丝包括至少一部分,所述至少一部分具有非线性几何形状和范围从0.01到2mm²的横截面面积。

13. 如权利要求12所述的方法,其特征在於,其中,所述非线性几何形状在去除所述模具时形成“S”形形状的孔。

14. 如权利要求12所述的方法,其特征在於,其中,所述孔以小于20°的角度离开表面。

15. 如权利要求12所述的方法,其特征在於,其中,所述孔以在5°到15°的范围内的角度离开表面。

16. 一种单晶金属涡轮叶片或定子,其特征在於,所述单晶金属涡轮叶片或定子具有内空腔和外表面,多个冷却孔提供所述内空腔和所述外表面之间的流体连通,所述多个冷却孔具有至少一部分,所述至少一部分具有非线性几何形状和范围从0.01到2mm²的横截面面积。

17. 如权利要求16所述的单晶金属涡轮叶片或定子,其特征在於,其中,所述非线性几何形状在去除所述模具时形成“S”形形状的孔。

18. 如权利要求16所述的单晶金属涡轮叶片或定子,其特征在於,其中,所述孔以小于20°的角度离开表面。

19. 如权利要求16所述的单晶金属涡轮叶片或定子,其特征在於,其中,所述孔以在5°到15°的范围内的角度离开表面。

20. 如权利要求16所述的单晶金属涡轮叶片或定子,其特征在於,其中,所述单晶金属是超合金。

用于制作具有非线性孔的铸造部件的一体式铸造芯壳结构

技术领域

[0001] 本公开大体涉及熔模铸造芯壳模具部件和运用这些部件的处理。根据本发明制作的芯壳模具包括在模具的芯和壳之间的一体式陶瓷长丝,可以运用陶瓷长丝在由这些模具制作的铸造部件中形成孔,即,隙透冷却孔。在芯和壳之间使用足够的陶瓷长丝来定位和提供芯蛇形管的浸出路径也使之能够消除球形钎焊槽。还可以提供顶腔芯和壳之间的陶瓷长丝以支撑浮动的顶腔,消除对于传统顶销以及随后通过钎焊封闭的需要。在本发明的模具中使用的长丝具有在铸造部件中形成非线性孔的非线性形状。一体式芯壳模具在铸造操作中提供有用的性质,诸如在制作用于喷气飞行器发动机或发电涡轮部件的涡轮叶片和定子轮叶的超合金的铸造中。

背景技术

[0002] 许多现代发动机和下一代涡轮发动机要求具有曲折和复杂几何形状的部件和零件,这要求新型材料和制造技术。用于制造发动机零件和部件的常规技术涉及到费力的熔模或失蜡铸造处理。熔模铸造的一个示例涉及到用在燃气涡轮发动机中的典型转子叶片的制造。涡轮叶片一般包括具有径向通道的中空翼型件,径向通道沿着具有至少一个或多个入口的叶片的翼展延伸,用于在发动机操作期间接收加压冷却空气。叶片中的各种冷却通路一般包括蛇形通道,蛇形通道安置在翼型件的在前缘和尾缘之间的中部。翼型件一般包括延伸通过叶片的入口,用于接收加压冷却空气,入口包括局部特征,诸如短的紊流肋或销,用于增加翼型件的受热侧壁和内部冷却空气之间的热传递。

[0003] 一般由高强度、超合金金属材料制造这些涡轮叶片涉及到图1中示出的诸多步骤。首先,制造精密陶瓷芯以符合涡轮叶片内侧所需的曲折冷却通路。还创建精密压模或模具,其限定涡轮叶片的精确3D外部表面,涡轮叶片包括其翼型件、平台和一体式楔形榫。这种模具结构的示意图在图2中示出。陶瓷芯200组装在两个压模半部内侧,两个压模半部在其间形成限定叶片的所得金属部分的空间或空隙。将蜡注入组装的压模中以填充空隙并围绕封装其中的陶瓷芯。将两个压模半部分开并从模制蜡中去除。模制蜡具有期望叶片的精确构造,然后涂覆有陶瓷材料以形成围绕的陶瓷壳202。然后,将蜡熔化并从壳202去除,在陶瓷壳202和内部陶瓷芯200和顶腔204之间留出对应的空隙或空间201。然后将熔化的超合金金属倒入壳中以填充其中的空隙,并再次封装容纳在壳202中的陶瓷芯200和顶腔204。熔化的金属冷却并凝固,然后适当地去除外部的壳202和内部的芯200和顶腔204,留下其中发现有内部冷却通道的期望金属涡轮叶片。为了提供经由浸出处理去除陶瓷芯材料的路径,设置球形槽203和顶销205,在浸出时在涡轮叶片内形成球形槽和顶孔,随后必须钎焊闭合。

[0004] 然后,铸造涡轮叶片可以经历附加的后铸造改造,诸如但不限于,视所需通过翼型件的侧壁钻出合适的多排膜冷却孔,用于为内部导通的冷却空气提供出口,内部导通的冷却空气然后在燃气涡轮发动机的操作期间在翼型件的外部表面上边形成保护性冷却空气膜或垫。在涡轮叶片从陶瓷模具中去除之后,陶瓷芯200的球形槽203形成通路,随后通路被钎焊闭合,以提供通过铸造涡轮叶片的内部空隙的期望空气路径。然而,这些后铸造改造受

到限制,并且鉴于涡轮发动机的复杂性不断增加以及认识到涡轮叶片内侧的某些冷却回路的效率,要求更复杂和曲折的内部几何形状。虽然熔模铸造能够制造这些零件,但是,使用这些常规制造处理制造的位置精度和曲折的内部几何形状变得更复杂。由此,期望提供一种用于具有曲折内部空隙的三维部件的改进铸造方法。

[0005] 在分配给劳斯莱斯公司的美国专利No.8,851,151中描述了使用3D打印来生产陶瓷芯壳模具的方法。制作模具的方法包括诸如分配给麻省理工学院的美国专利No.5,387,380公开的粉末床陶瓷处理,以及分配给3D系统公司的美国专利No.5,256,340中公开的选择性激光激活(SLA)。根据'151专利的陶瓷芯壳模具受到这些处理的打印分辨率性能限制。如图3所示,一体式芯壳模具的芯部分301和壳部分302经由设置在模具的底部边缘处的一系列连接结构303保持在一起。'151专利中提出了冷却通路,包括通过短柱体连结的交错竖向空腔,其长度与其直径几近相同。然后使用'151专利中公开的已知技术在芯壳模具中形成超合金涡轮叶片,该专利通过引用的方式并入文中。在这些芯壳模具中的一个中铸造涡轮叶片之后,去除模具以露出铸造的超合金涡轮叶片。

[0006] 依然需要制备使用更高分辨率方法生产的陶瓷芯壳模具,该方法能够在铸造处理的终端产品中提供精细的细节铸造特征。

发明内容

[0007] 在一个实施例中,本发明涉及一种制造陶瓷模具的方法。该方法包括下述步骤:(a)使工件的固化部分与液态陶瓷光聚合物接触;(b)通过接触液态陶瓷光聚合物的窗口照射液态陶瓷光聚合物的邻近于固化部分的一部分;(c)从未固化的液态陶瓷光聚合物中去除工件。重复步骤(a)-(c),直到形成陶瓷模具为止。陶瓷模具具有(1)芯部分和壳部分以及(2)多个长丝,在芯部分和壳部分之间具有至少一个空腔,空腔适配成在铸造和去除陶瓷模具时限定铸造部件的形状,多个长丝连结芯部分和壳部分,其中每个长丝跨越在芯和壳之间并且在去除模具时在铸造部件中限定孔,其中,至少一个长丝包括至少一部分,该至少一部分具有非线性几何形状和范围从0.01到2mm²的横截面面积。接下来,该处理可以包括下述步骤:将液态金属倒入铸造模具中并使液态金属凝固以形成铸造部件,然后从铸造部件中去除模具,优选地,该步骤涉及到机械力和碱性浴中的化学浸出的组合。

[0008] 在一个实施例中,本发明涉及一种制备铸造部件的方法。该方法包括下述步骤:将液态金属倒入陶瓷铸造模具中并凝固液态金属以形成铸造部件,陶瓷铸造模具包含(1)芯部分和壳部分以及(2)多个长丝,在芯部分和壳部分之间具有至少一个空腔,空腔适配成在铸造和去除陶瓷模具时限定铸造部件的形状,多个长丝连结芯部分和壳部分,其中每个长丝跨越在芯和壳之间并且在去除模具时在铸造部件中限定孔,其中,至少一个长丝包括至少一部分,该至少一部分具有非线性几何形状和范围从0.01到2mm²的横截面面积;以及,通过长丝所提供的铸造部件中的孔浸出陶瓷芯的至少一部分,从铸造部件中去除陶瓷铸造模具。

[0009] 在一个方面,铸造部件是涡轮叶片或定子轮叶。优选地,涡轮叶片或定子轮叶用在燃气涡轮发动机中,例如,飞行器发动机或发电。优选地,涡轮叶片或定子轮叶是具有通过上述陶瓷长丝限定的冷却孔图案的单晶铸造涡轮叶片或定子轮叶。优选地,长丝连结芯部分和壳部分,其中每个长丝跨越在芯和壳之间,长丝具有范围从0.01到2mm²的横截面面积。

[0010] 用以形成冷却孔图案的大数目的长丝可以提供足够的强度来支撑顶芯。如果使得顶长丝支撑顶腔芯,则它们可以制作得更大,即,>2mm的横截面面积,可以使用数目少得多的长丝或单个长丝。尽管这些较大长丝中的两到四个是理想数目。在铸造之后,由于长丝而留在顶腔侧壁中的任何孔或凹口可以被钎焊闭合或并入涡轮叶片定子轮叶设计中,或者,长丝可以放置在部件的成品加工形状外侧以防止这点的需要。

[0011] 在一个方面,本发明涉及一种陶瓷铸造模具,其包括芯部分和壳部分以及多个长丝,在芯部分和壳部分之间具有至少一个空腔,空腔适配成在铸造和去除陶瓷模具时限定铸造部件的形状,多个长丝连结芯部分和壳部分,其中每个长丝跨越在芯和壳之间并且在去除模具时在铸造部件中限定孔,其由芯部分和铸造部件的外表面所限定,其中,至少一个长丝包括至少一部分,该至少一部分具有非线性几何形状和范围从0.01到2mm²的横截面面积。优选地,铸造部件是涡轮叶片或定子轮叶,并且在去除模具时,连结芯部分和壳部分的多个长丝在涡轮叶片或定子轮叶中限定多个冷却孔。连结芯部分和壳部分的多个长丝具有范围从0.01到2mm²的横截面面积。陶瓷可以是光聚合陶瓷或固化的光聚合陶瓷。

[0012] 优选地,铸造部件是涡轮叶片或定子轮叶,并且在去除模具时,连结芯部分和壳部分的多个长丝在涡轮叶片或定子轮叶中限定多个冷却孔。连结芯部分和壳部分的多个长丝具有范围从0.01到2mm²的横截面面积。陶瓷可以是光聚合陶瓷或固化的光聚合陶瓷。

[0013] 在一个方面,本发明涉及一种单晶金属涡轮叶片或定子轮叶,其具有内空腔和外表面,多个冷却孔提供内空腔和外表面之间的流体连通,多个冷却孔具有至少一部分,至少一部分具有非线性几何形状和范围从0.01到2mm²的横截面面积。

[0014] 优选地,非线性几何形状反映在去除模具时形成“S”形形状的孔的非线性几何形状。在一个方面,孔以小于20°的角度离开表面。在另一方面,孔以在5°到15°的范围内的角度离开表面。

附图说明

[0015] 图1是示出常规熔模铸造的步骤的流程示图。

[0016] 图2是示出用于通过常规处理制备的具有球形槽的芯壳模具的常规方案的示例的示意性示图。

[0017] 图3示出具有连接芯部分和壳部分的连接件的现有技术的一体式芯壳模具的立体视图。

[0018] 图4、图5、图6和图7示出用于执行直接光处理(DLP)的方法的连续阶段的设备的示意性横向截面视图。

[0019] 图8示出沿着图7的线A-A的示意性截面视图。

[0020] 图9示出具有连接芯部分和壳部分的长丝的一体式芯壳模具的侧视图。

[0021] 图10示出带有连接芯部分和壳部分的非线性长丝的一体式芯壳模具的侧视图。

[0022] 图11示出根据本发明一个方面的非线性冷却孔的侧视图。

[0023] 图12示出根据本发明一个方面的非线性冷却孔的侧视图。

具体实施方式

[0024] 下面连同附图一起阐述的详细描述意在作为各种构造的描述,而不意在表示可以

实践文中描述的概念的唯一构造。出于提供对各种概念的透彻理解的目的,该详细描述包括具体细节。然而,这些概念可以在没有这些具体细节的情况下实践对本领域技术人员而言将是明显的。例如,本发明提供一种制作铸造金属零件的优选方法,优选地,用在制造喷气飞行器发动机中的那些铸造金属零件。具体地,根据本发明,可以有利地生产单晶、镍基超合金铸造零件,诸如涡轮叶片、轮叶和护罩部件。然而,可以使用本发明的技术和一体式陶瓷模具备制其他铸造金属部件。

[0025] 本发明人认识到,已知用于制作一体式芯壳模具的现有处理缺乏以下所需的精细分辨率性能:以足够小的尺寸和量打印在模具的芯和壳部分之间延伸的长丝,以在成品化涡轮叶片中生产隙透冷却孔。在较早的粉末床处理的情况下,诸如分配给麻省理工学院的美国专利No.5,387,380中公开的,粉末床重涂覆机臂的动作阻碍了在芯和壳之间延伸以在铸造零件中提供隙透冷却孔图案的足够精细的长丝的形成。采取自上向下照射技术的其他已知技术,诸如分配给3D系统公司的美国专利No.5,256,340中公开的选择性激光激活(SLA),可以在生产根据本发明的一体式芯壳模具时运用。然而,这些系统的可用打印分辨率显著限制了制作具有足够小的尺寸以在铸造最终产品中用作有效冷却孔的长丝的能力。

[0026] 本发明人发现了,本发明的一体式芯壳模具可以使用直接光处理(DLP)制造。DLP与上面论述的粉末床和SLA处理的不同之处在于,聚合物的光固化通过树脂箱底部的窗口发生,该窗口将光投射到随着处理进行而升高的构建平台上。利用DLP,同时生产整层固化聚合物,并且消除使用激光扫描图案的需要。进一步,聚合发生在该下方的窗口和正在构建的物体的最后固化层之间。下方的窗口提供支撑,允许生产材料的细长丝而不需要分离的支撑结构。换言之,生产桥接构建物体的两个部分的材料的细长丝是困难的,在现有技术中一般是避免的。例如,上面在本申请的背景技术章节中论述的'151专利使用了与短柱体连接的竖向板结构,其长度大约为它们的直径。因为'151专利中公开的粉末床和SLA技术要求竖向支撑的陶瓷结构,所以需要交错的竖向空腔,并且该技术不能可靠地生产长丝。此外,粉末床内的可用分辨率大约为 $1/8''$ (3.2mm),导致最小特征横截面尺寸为大约 8mm^2 ,使得传统冷却孔的生产不可行。例如,圆形冷却孔通常具有小于2mm的直径,对应于低于 3.2mm^2 的冷却孔面积。鉴于需要从几个体素生产孔,生产这种尺寸的孔需要远低于实际孔大小的分辨率。这种分辨率在粉末床处理中根本是不可用的。相似地,由于缺乏与激光散射相关的支撑和分辨率问题,立体光刻在其生产这种长丝的能力上有限。但是,DLP曝光长丝是整个长度并在窗口和构建板之间支撑它的事实使之能够生产跨越芯和壳之间的整个长度以形成具有期望冷却孔图案的陶瓷物体的足够细的长丝。尽管粉末床和SLA可以被用以生产长丝,但是,如上所述,它们生产足够精细的长丝的能力有限。

[0027] 一种合适的DLP处理公开在分配给义获嘉伟瓦登特公司(Ivoclar Vivadent AG)和维也纳工业大学(Technische Universität Wien)的美国专利No.9,079,357以及W02010/045950A1和US2013131070中,其中的每一个通过引用的方式并入此文并在下面参考图4至图8论述。该装置包括箱404,箱404具有至少一个半透明底部406,底部406覆盖曝光单元410的至少一部分。曝光单元410包含光源和调制器,可以在控制单元的控制之下利用调制器位置选择性地调节强度,以便在箱底部406上生产具有当前待形成层所需几何形状的曝光区域。替换性地,可以在曝光单元中使用激光器,激光器的光束借助于控制单元所控制的移动镜以期望强度图案连续扫描曝光区域。

[0028] 与曝光单元410相对地,在箱404的上面设置生产平台412;它通过提升机构(未示出)支撑,从而它在曝光单元410上面的区域中以高度可调节的方式保持在箱底部406上。类似地,生产平台412可以是透明的或半透明的,以便可以通过生产平台上面的又一曝光单元将光照入,使得至少当在生产平台412的下侧形成第一层时,它也可以从上面被曝光,从而首先在生产平台上固化的层以更高的可靠性粘附到其上。

[0029] 箱404容纳有高粘性可光聚合性材料420的填充物。填充物的材料水平比意在限定用于位置选择性曝光的各层的厚度高得多。为了限定一层可光聚合性材料,采用以下程序。生产平台412通过提升机构以受控方式降低,从而(在第一曝光步骤之前)其下侧浸没在可光聚合性材料420的填充物中,并接近箱底部406,达到所需层厚度 Δ (参见图5)精确地留在生产平台412的下侧和箱底部406之间的程度。在该浸没处理中,可光聚合性材料从生产平台412的下侧和箱底部406之间的间隙偏离。在设定了层厚度 Δ 之后,对该层执行期望的位置选择性层曝光,以便使它固化成期望形状。特别地,当形成第一层时,也可以通过透明或半透明的生产平台412从上面进行曝光,从而特别是在生产平台412的下侧和可光聚合性材料之间的接触区域中进行可靠和完全的固化,因此确保了第一层良好粘附到生产平台412。在形成了该层之后,借助于提升机构再次升高生产平台。

[0030] 随后重复这些步骤若干次数,从最后形成的层422的下侧到箱底部406的距离分别设定为期望层厚度 Δ ,并且接着的下一层以期望方式位置选择性地固化。

[0031] 在曝光步骤以后升高了生产平台412之后,在曝光区域中存在材料不足,如图6中指示的。这是因为,在固化设定有厚度 Δ 的层之后,该层的材料被固化并利用生产平台以及已经形成在其上的成形本体的该部分升高。因此,在已经形成的成形本体的该部分的下侧和箱底部406之间缺失的可光聚合性材料必须由来自围绕曝光区域的区域的可光聚合性材料420的填充物填充。然而,由于材料的高粘性,它不会自身流动回到成形本体的该部分的下侧和箱底部之间的曝光区域,从而材料下陷或可能在该处留下“孔”。

[0032] 为了利用可光聚合性材料补充曝光区域,细长的混合元件432移动通过箱中可光聚合性材料420的填充物。在图4至图8中表示的示范性实施例中,混合元件432包含细长的线,该线在可移动地安装在箱404的侧壁上的两个支撑臂430之间张紧。支撑臂430可以可移动地安装在箱404的侧壁中的引导槽434中,从而通过使支撑臂430在引导槽434中移动,在支撑臂430之间张紧的线432可以相对于箱404平行于箱底部406移动。细长的混合元件432具有尺寸,其移动被相对于箱底部引导,从而细长的混合元件432的上边缘留在曝光区域外的箱中的可光聚合性材料420的填充物的材料的水平以下。如在图8的截面视图中可以看到的,混合元件432在线的整个长度上在箱中的材料水平以下,并且仅支撑臂430突出超出箱中的材料水平。将细长的混合元件布置在箱404中的材料水平以下的效果不是细长的混合元件432在其相对于箱移动通过曝光区域期间大致移动其前面的材料,而是该材料在混合元件432上流动同时执行稍微向上的移动。在图7中示出了混合元件432从图6中示出的位置在例如箭头A所指示的方向上移动到新位置。可以发现,通过对箱中的可光聚合性材料的这类动作,材料被有效地刺激以流动回到生产平台412和曝光单元410之间的消耗材料的曝光区域。

[0033] 细长的混合元件432相对箱的移动可以首先利用静定的箱404通过线性驱动器执行,线性驱动器使支撑臂430沿着引导槽434移动,以便实现细长的混合元件432通过生产平

台412和曝光单元410之间的曝光区域的所需移动。如图8所示,箱底部406在两侧具有凹部406'。支撑臂430突出,使其下端进入这些凹部406'中。这使得细长的混合元件432可以保持在箱底部406的高度,而不与支撑臂430的下端通过箱底部406的移动干涉。

[0034] DLP的其他替换性方法可以用以制备本发明的一体式芯壳模具。例如,箱可以定位可在可旋转平台上。当在连续构建步骤之间从粘性聚合物撤回工件时,箱可以相对于平台和光源旋转,以提供新的一层粘性聚合物,其中使构建平台下降以构建连续的层。

[0035] 图9示出具有连接芯900和壳部分901的长丝902的一体式芯壳模具的示意性侧视图。通过使用上面DLP打印处理打印陶瓷模具,可以以允许芯和壳之间的连接点通过长丝902设置的方式制作模具。一旦打印芯壳模具,就可以使之受到后热处理步骤,以固化打印的陶瓷聚合物材料。然后可以用在类似于生产超合金涡轮叶片中的传统铸造处理,使用固化的陶瓷模具。值得注意的是,因为长丝902大量设置,与在涡轮叶片的表面中形成隙透冷却孔的图案一致,所以,可以消除对于如图2所示的球形槽结构的需要。在该实施例中,保持将顶腔芯904连接到芯900的顶销905。在去除陶瓷模具之后,在芯900和顶腔芯904之间存在顶孔,随后可以被钎焊闭合。然而,可以消除顶销905,以此避免对于钎焊闭合将芯空腔和顶腔连接的顶孔的需要。

[0036] 优选地,长丝902是柱形或椭圆形状,但可以是弯曲的或非线性的。它们的确切尺寸可以根据特定铸造金属零件的期望膜冷却方案而变化。例如,冷却孔可以具有范围从0.01到2mm²的横截面面积。在涡轮叶片中,横截面面积的范围可以从0.01到0.15mm²,更优选地,从0.05到0.1mm²,最优选地,大约0.07mm²。在轮叶的情况下,冷却孔可以具有范围从0.05到0.2mm²的横截面面积,更优选地,0.1到0.18mm²,最优选地,大约0.16mm²。冷却孔的间距一般是冷却孔直径的倍数,范围从冷却孔直径的2倍至10倍,最优选地,孔直径的大约4-7倍。

[0037] 长丝902的长度通过铸造部件的厚度决定,如,涡轮叶片或定子轮叶壁厚,和冷却孔相对铸造部件的表面安置的角度。典型的长度范围从0.5到5mm,更优选地,在0.7到1mm之间,最优选地,大约0.9mm。安置冷却孔的角度相对表面近似5至35°,更优选地,在10至20°之间,最优选地,近似12°。应当理解,相比于使用常规加工技术当前可得的,根据本发明的铸造方法允许形成相对铸造部件的表面具有更低角度的冷却孔。

[0038] 根据本发明制作的冷却孔的具体形状通过将模具的芯连接到壳部分的长丝的形状确定。因为制作长丝的处理允许对长丝尺寸的完全控制,所以,本发明可以用于制作任何形状冷却孔。另外,单个铸造物体可以设置有若干种冷却孔设计。以下描述了可以根据本发明使用的冷却孔设计的若干非限制性示例。本发明的冷却孔的一个关键特征是它们可以设置有非视线形状。实践中,使用电火花加工(EDM)通过完成的涡轮叶片钻出的冷却孔受限于通常成形为具有通过铸造金属物体的视线的冷却孔。这是因为EDM装置具有大体线性形状并且通过铸造物体的外表面钻孔以抵达芯空腔来操作。通常不可能从铸造物体的芯空腔侧钻孔,因为芯空腔是难以接近的。

[0039] 图10示出具有连接芯1000和壳部分1001的根据本发明的非线性长丝1002的一体式芯壳模具的示意性侧视图。通过使用上面DLP打印处理打印陶瓷模具,可以以允许芯和壳之间的连接点通过非线性长丝1002设置的方式制作模具。一旦打印芯壳模具,就可以使之受到后热处理步骤,以固化打印的陶瓷聚合物材料。然后可以类似于用在生产超合金涡轮叶片中的传统铸造处理,使用固化的陶瓷模具。值得注意的是,因为非线性长丝1002大量设

置,与在涡轮叶片的表面中形成隙透冷却孔的图案一致,所以,可以消除对于如图2所示的球形槽结构的需要。在该实施例中,保持将顶腔芯1004连接到芯1000的顶销1005。在去除陶瓷模具之后,在芯1000和顶腔芯1004之间存在顶孔,随后可以被钎焊闭合。然而,可以消除顶销1005,以此避免对于钎焊闭合将芯空腔和顶腔连接的顶孔的需要。

[0040] 优选地,非线性长丝1002为柱形或椭圆形状。它们的确切尺寸可以根据特定铸造金属零件的期望膜冷却方案而变化。例如,冷却孔可以具有范围从0.01到2mm²的横截面面积。在涡轮叶片中,横截面面积的范围可以从0.01到0.15mm²,更优选地,从0.05到0.1mm²,最优选地,大约0.07mm²。在轮叶的情况下,冷却孔可以具有范围从0.05到0.2mm²的横截面面积,更优选地,0.1到0.18mm²,最优选地,大约0.16mm²。冷却孔的间距一般是冷却孔直径的倍数,范围从冷却孔直径的2倍至10倍,最优选地,孔直径的大约4-7倍。

[0041] 长丝1002的长度通过铸造部件的厚度(如,涡轮叶片壁厚)和冷却孔相对于铸造部件的表面安置的角度决定。典型的长度范围从0.5到5mm,更优选地,在0.7到1mm之间,最优选地,大约0.9mm。安置冷却孔的角度相对于该表面近似5至35°,更优选地,在10至20°之间,最优选地,近似12°。应当理解,相比于使用常规加工技术当前可得的,根据本发明的铸造方法允许形成对铸造部件的表面具有更低角度的冷却孔。

[0042] 本发明还涉及制作铸造金属物体的方法,特别地,具有非线性冷却孔(诸如图10中示出)的示范性设计、用在喷气飞行器发动机中的单晶涡轮叶片和定子。该方法开始于使用DLP生产陶瓷模具。DLP处理涉及到重复下述步骤:(a)使工件的固化部分与液态陶瓷光聚合物接触;(b)通过接触液态陶瓷光聚合物的窗口照射液态陶瓷光聚合物的邻近于固化部分的一部分;以及,(c)从未固化的液态陶瓷光聚合物中去除工件。重复步骤(a)-(c),直到形成图10中示出的陶瓷模具为止。在形成模具之后,然后液态金属可以倒入铸造模具中并凝固以形成铸造部件。然后使用例如机械去除外壳和浸出内陶瓷芯的组合将陶瓷模具从铸造部件中去除。

[0043] 图10中示出的非线性冷却孔长丝的具体几何形状可以基于将要放置在涡轮叶片或定子中的具体喷射冷却孔图案的需要而变化。例如,孔的方向可以与图10中示出的相反,图10中,孔朝向涡轮叶片的上部对齐。长丝可以具有在去除模具时形成“S”形形状的保持部的曲率。替换性地,孔可以沿着涡轮叶片水平地对齐,使得它们向页面内(或者,替换性地,页面外)突出。鉴于可以用于DLP处理的灵活性,没有对冷却孔的形状的限制。图11和12中示出了几个替换性的示范性冷却孔几何形状。

[0044] 图11示出根据本发明一个方面的可以在铸造物体中制作的非线性冷却孔的侧视图。在该示例中,隙透冷却孔1110从铸造部件1100的内表面1102延伸到铸造部件1100的外表面1104。冷却孔1110具有具有入口1122的上游部分1120、中间部分1140和具有出口1132的下游部分1130。冷却孔1110具有非线性视线,意味着鉴于入口1122和出口1132的面积、以及相应部分1120,1130的直径、形状和角度,没有实质上的单个直线段可以在入口1122和出口1132之间延伸。示范性冷却孔几何形状可以通过在诸如图10所示的芯壳组件内以冷却孔的相反图案打印长丝来实施。

[0045] 图12示出根据本发明实施例的喷射冷却孔1210。冷却孔1210从铸造部件1200的内表面1202延伸通过铸造部件1200,到达铸造部件1200的外表面1204。冷却孔1210从具有入口1222的上游部分1220延伸,通过腔室1240,到达具有通向铸造物体的外表面的出口1232

的下游部分1230。本发明的冷却孔1210可以具有腔室1240，腔室1240通过大于入口1220的最小直径的至少一个高度或宽度尺寸限定。冷却孔可以具有邻近于入口1220的斜坡结构1224。

[0046] 腔室1240设计成向冷却孔提供附加的热传递性能，同时用作以自己的方式进入冷却空气供应部的灰尘和颗粒物质的捕集器。当在多尘或沙质环境中操作喷气飞行器时，这会是特别有利的。防止灰尘或沙子进入流路可以增加下游发动机零件的使用寿命，这些零件可能会因灰尘或沙子污染而随时间损坏。例如，喷气飞行器发动机的低压涡轮区域中的涡轮叶片和定子可以受益于减少污染。此外，斜坡结构1224可以可选地包括在设计中，以进一步减少沙子或灰尘的污染。

[0047] 在浸出之后，可以视所需将由芯打印长丝生产的涡轮叶片中的孔钎焊闭合。另外，芯打印长丝所留下的孔可以包含在内部冷却通路的设计中。替换性地，可以设置足够量的冷却孔长丝将顶腔芯与壳连接，以在金属铸造步骤期间将顶腔芯保持就位。

[0048] 在打印根据本发明的芯壳模具结构之后，可以依据陶瓷芯光聚合物材料的要求来固化和/或烧制芯壳模具。可以将熔化的金属倒入模具中，以形成一定形状且具有一体式芯壳模具所提供的特征的铸造物体。在涡轮叶片的情况下，优选地，熔化的金属是超合金金属，使用与常规熔模铸造模具一起使用的已知技术来形成单晶超合金涡轮叶片。

[0049] 在一方面，本发明涉及包含或结合以相似方式生产的其他芯壳模具的特征的本发明的芯壳模具结构。以下专利申请包括这些各种方面及其使用的公开内容：

[0050] 美国专利申请No. []，名称为“一体化铸造芯壳结构 (INTEGRATED CASTING CORE-SHELL STRUCTURE)”，代理案卷号037216.00036/284976，于2016年12月13日提交；

[0051] 美国专利申请No. []，名称为“具有浮动顶腔的一体化铸造芯壳结构 (INTEGRATED CASTING CORE-SHELL STRUCTURE WITH FLOATING TIPPLENUM)”，代理案卷号037216.00037/284997，于2016年12月13日提交；

[0052] 美国专利申请No. []，名称为“用于制作铸造部件的多件式一体化芯壳结构 (MULTI-PIECE INTEGRATED CORE-SHELL STRUCTURE FOR MAKING CAST COMPONENT)”，代理案卷号037216.00033/284909，于2016年12月13日提交；

[0053] 美国专利申请No. []，名称为“制作铸造部件的具有模脚和/或缓冲器的多件式一体化芯壳结构 (MULTI-PIECE INTEGRATED CORE-SHELL STRUCTURE WITH STANDOFF AND/OR BUMPER FOR MAKING CAST COMPONENT)”，代理案卷号037216.00042/284909A，于2016年12月13日提交；

[0054] 美国专利申请No. []，名称为“用于制作铸造部件的具有打印管的一体化铸造芯壳结构 (INTEGRATED CASTING CORE SHELL STRUCTURE WITH PRINTED TUBES FOR MAKING CAST COMPONENT)”，代理案卷号037216.00032/284917，于2016年12月13日提交；

[0055] 美国专利申请No. []，名称为“用于制作铸造部件的一体化铸造芯壳结构和过滤器 (INTEGRATED CASTING CORE-SHELL STRUCTURE AND FILTER FOR MAKING CAST COMPONENT)”，代理案卷号037216.00039/285021，于2016年12月13日提交；

[0056] 美国专利申请No. []，名称为“用于制作具有位于不可接近位置的冷却孔的铸造部件的一体化铸造芯壳结构 (INTEGRATED CASTING CORE SHELL STRUCTURE FOR MAKING CAST COMPONENT WITH COOLING HOLES IN INACCESSIBLE LOCATIONS)”，代理案卷号

037216.00055/285064A,于2016年12月13日提交;

[0057] 美国专利申请No.[],名称为“用于制作具有薄根部件的铸造部件的一体化铸造芯壳结构(INTEGRATED CASTING CORE SHELL STRUCTURE FOR MAKING CAST COMPONENT HAVING THIN ROOT COMPONENTS)”,代理案卷号037216.00053/285064B,于2016年12月13日提交;

[0058] 这些申请中的每一个的公开内容以其全部内容并入文中,达到它们公开芯壳模具及制作方法的其他方面的程度,这些可以连同文中公开的芯壳模具一起使用。

[0059] 该书面描述使用示例来公开本发明,包括优选实施例,还使本领域技术人员能够实践本发明,包括制作和使用任何设备或系统,并施行任何并入的方法。本发明的专利权范围由权利要求书来限定,可以包括本领域技术人员容易想到的其他示例。这种其他示例意在包括于权利要求书的范围内,如果该示例具有与权利要求书的文字语言并无不同的结构元件的话,或者,如果该示例包括与权利要求书的文字语言无实质不同的等效结构元件的话。来自所描述的各种实施例的各方面以及针对每个这种方面的其他已知等效物可以由本领域普通技术人员混合和匹配,以构筑根据本申请原理的其他实施例和技术。

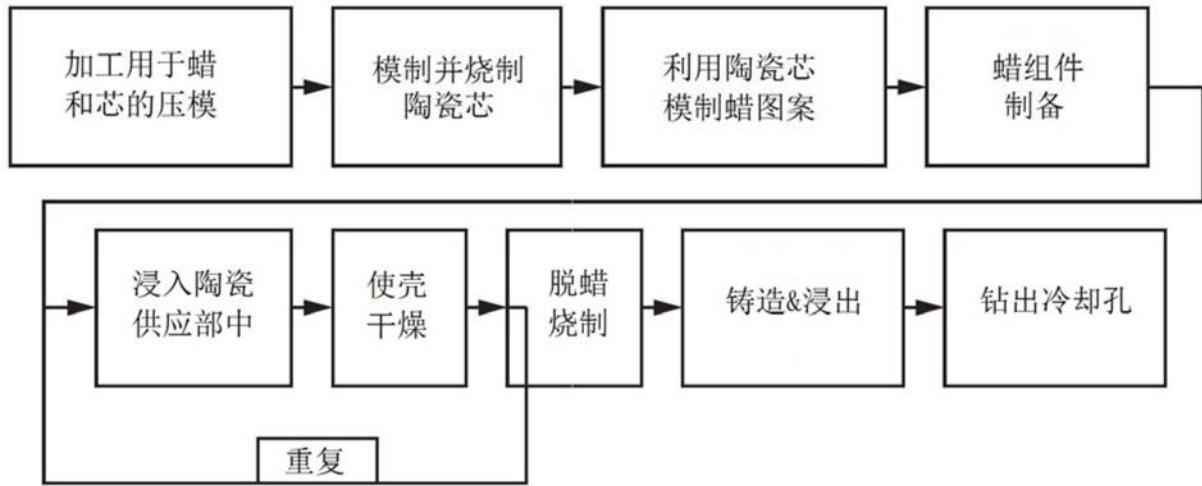


图1现有技术

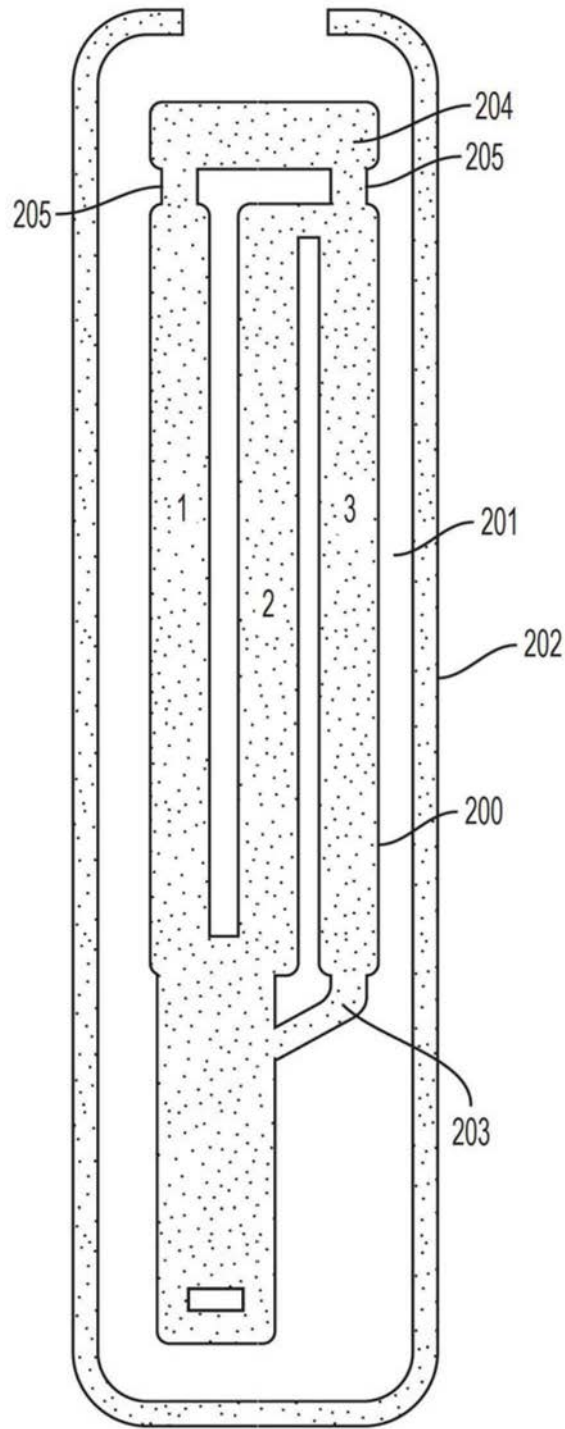


图2现有技术

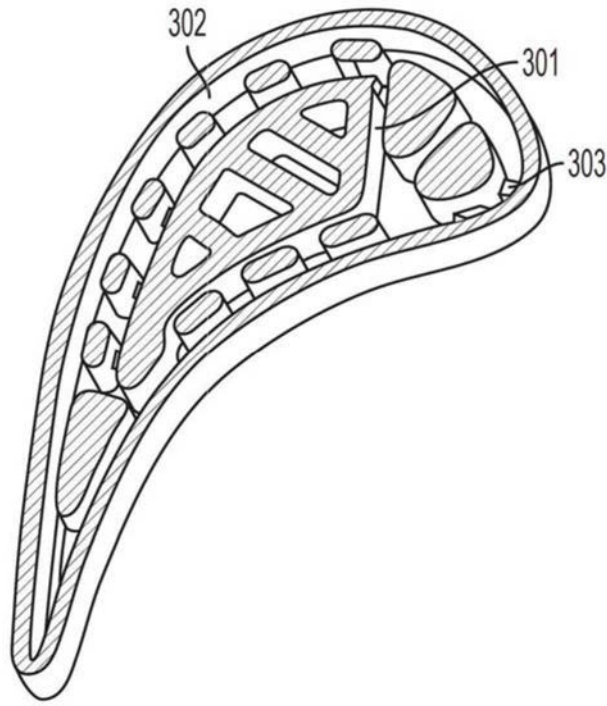


图3现有技术

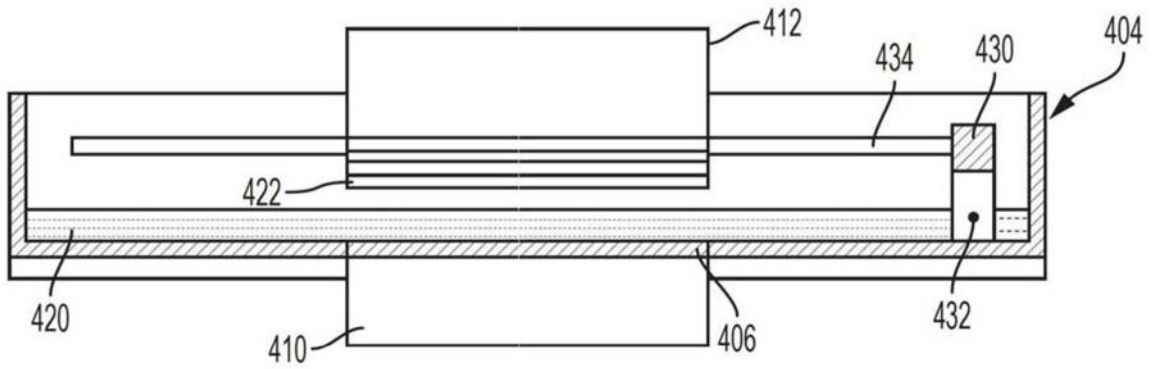


图4

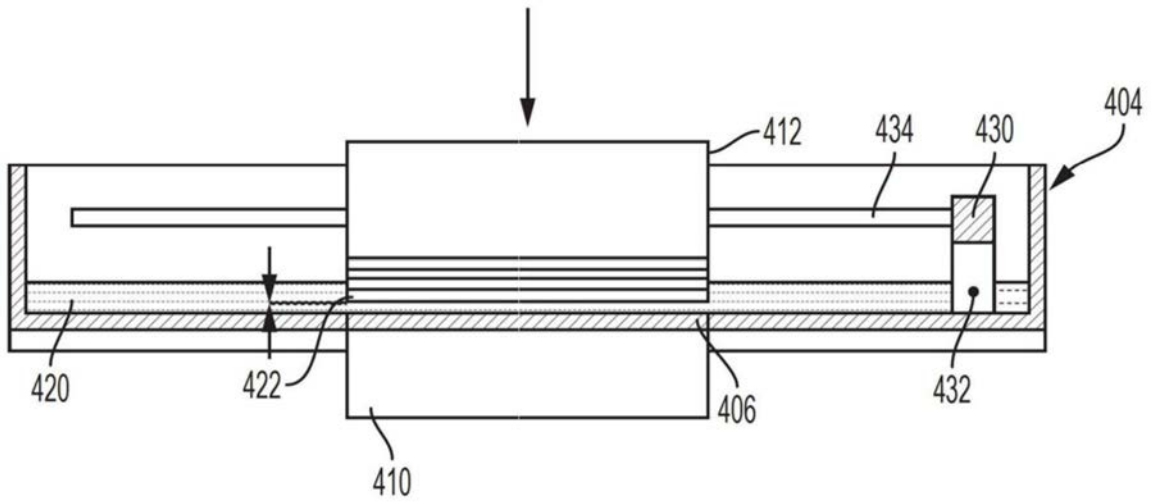


图5

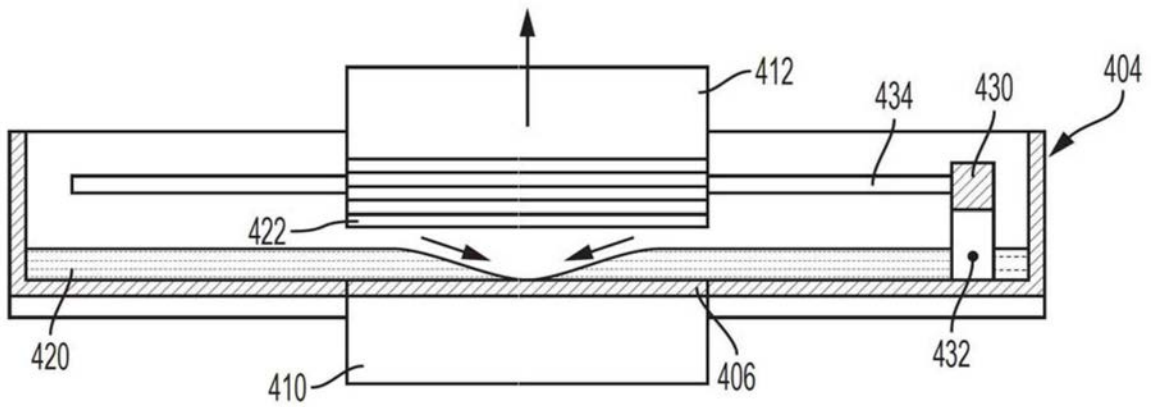


图6

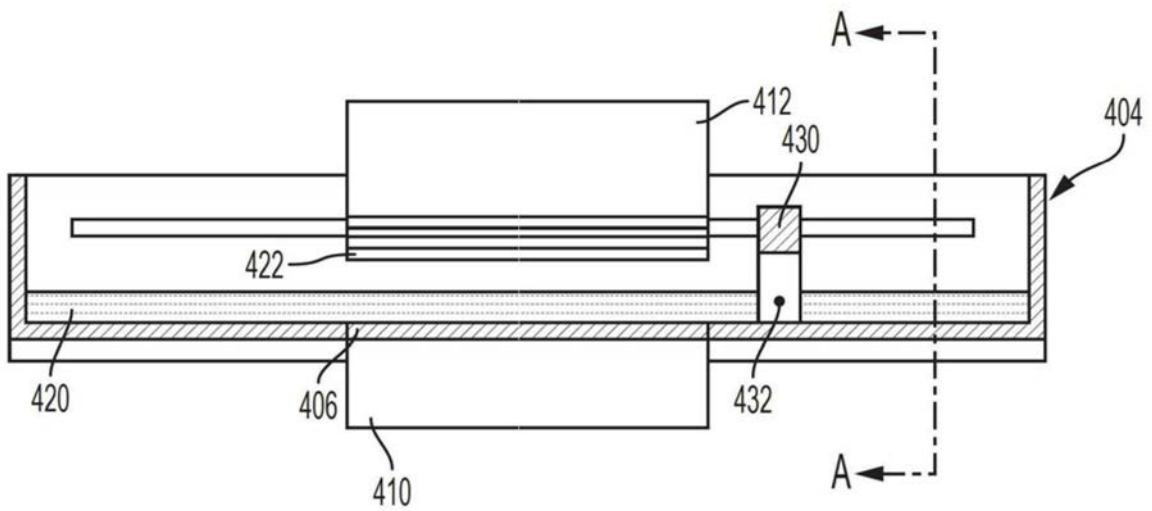


图7

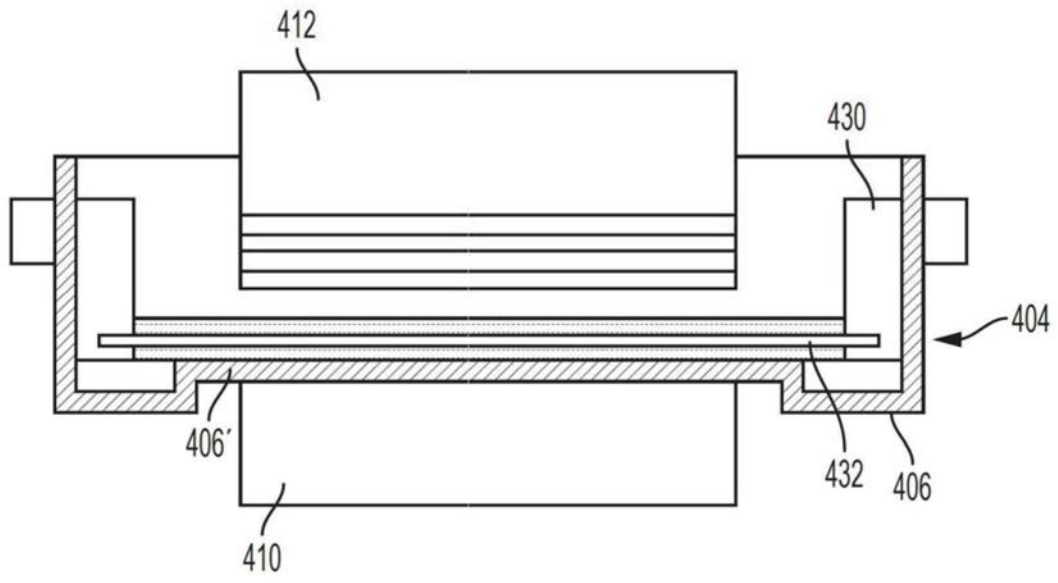


图8

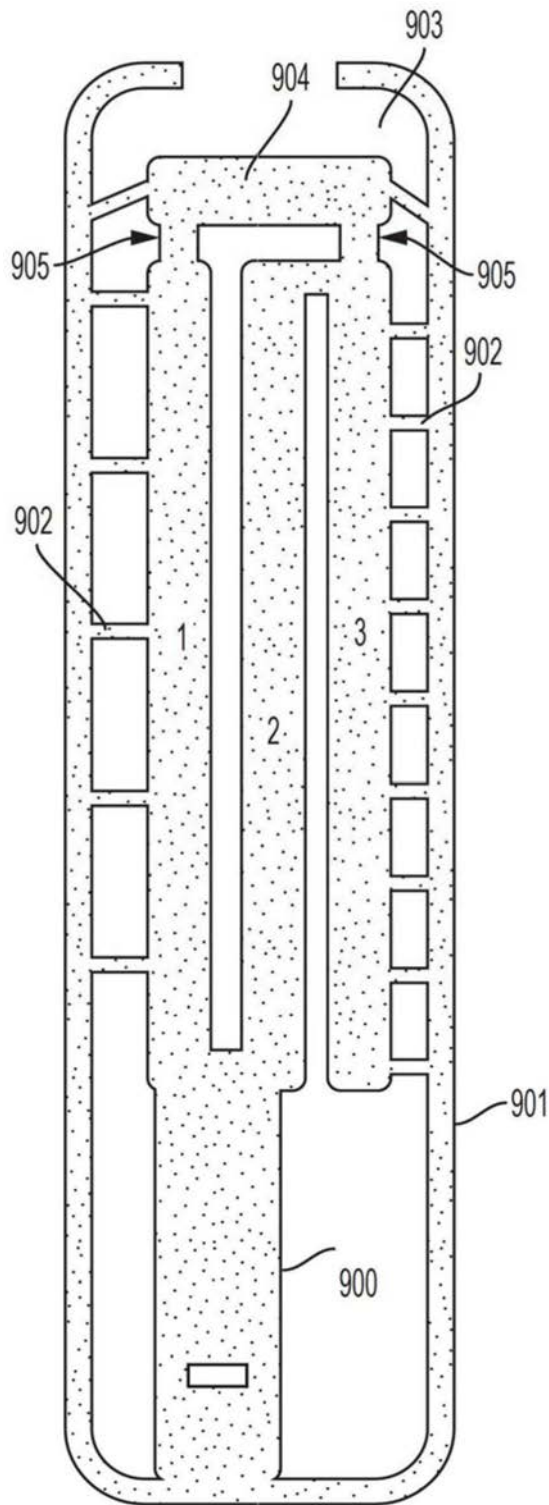


图9

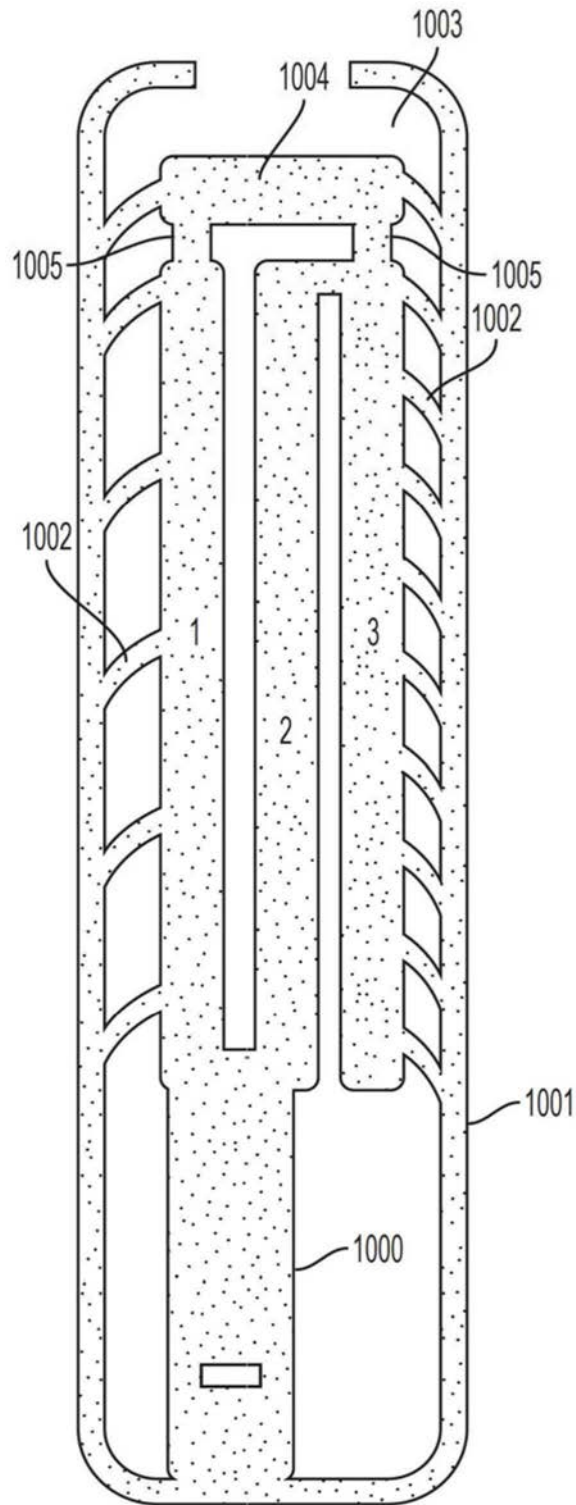


图10

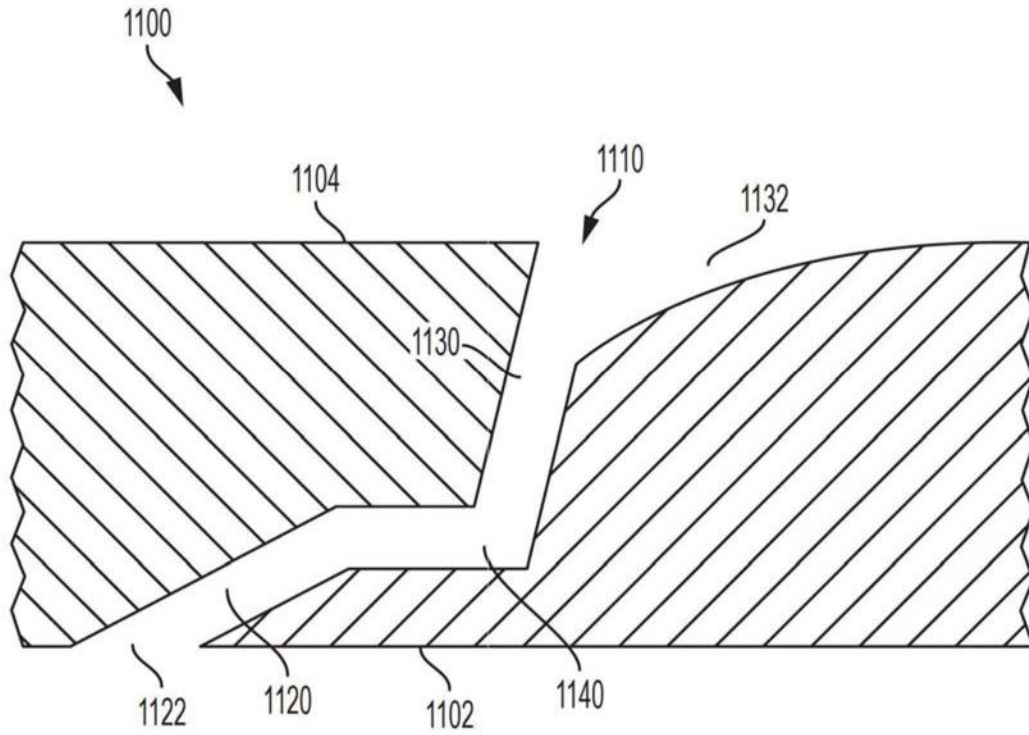


图11

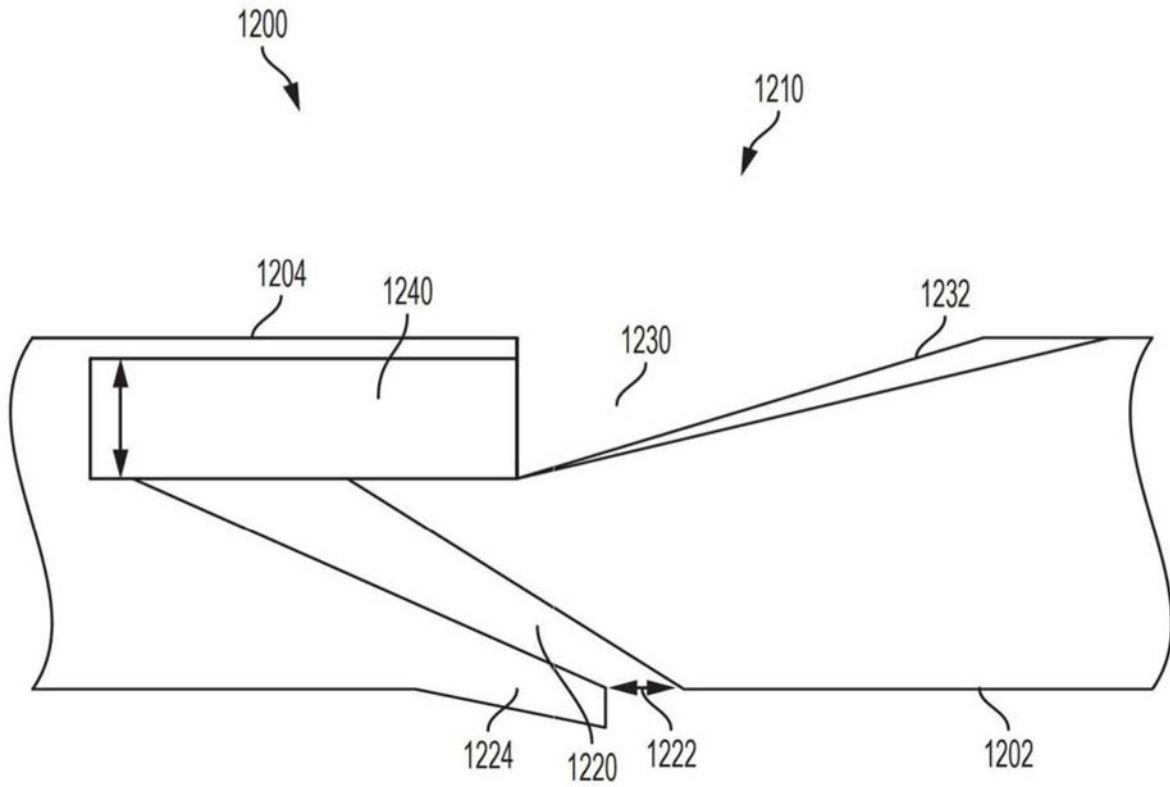


图12