



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105715306 B

(45)授权公告日 2020.09.01

(21)申请号 201510728013.5

(22)申请日 2015.10.30

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105715306 A

(43)申请公布日 2016.06.29

(30)优先权数据

62/073200 2014.10.31 US

14/870443 2015.09.30 US

(73)专利权人 联合工艺公司
地址 美国康涅狄格州

(72)发明人 T.N.斯拉文斯 M.F.泽勒斯基
J.Q.徐 J.H.瓦纳

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公
司 72001

代理人 吴超 胡斌

(51)Int.Cl.

F01D 5/18(2006.01)

F01D 25/12(2006.01)

F02C 7/12(2006.01)

B22F 3/105(2006.01)

审查员 张磊洋

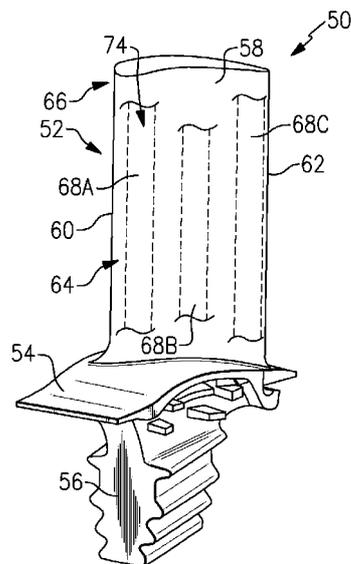
权利要求书2页 说明书8页 附图10页

(54)发明名称

用于制造燃气涡轮发动机零件的增材制造的铸造制品

(57)摘要

本发明公开一种根据本公开的另一个示例性方面的铸造制品,所述铸造制品尤其包括回路形成部分,所述回路形成部分包括内部通道和围绕所述内部通道的外部壳体。设计失效特征结构形成在所述外部壳体中并且被构造成增加所述铸造制品在铸造过程期间的可压缩性。



1. 一种用于制造燃气涡轮发动机零件的铸造制品,其包括:
回路形成部分,所述回路形成部分包括内部通道和围绕所述内部通道的外部壳体;以及

设计失效特征结构,所述设计失效特征结构形成在所述外部壳体中并且被构造成增加所述铸造制品在铸造过程期间的可压缩性,

其中所述设计失效特征结构包括形成在所述外部壳体中的变薄部分,所述变薄部分具有与所述外部壳体的第二部分相比减小的厚度,或者,其中所述燃气涡轮发动机零件包括翼面,所述翼面包括压力侧和吸力侧,所述设计失效特征结构包括内部支撑件,所述内部支撑件在所述外部壳体的吸力侧形成壁与压力侧形成壁之间延伸,或者,其中所述设计失效特征结构包括形成在所述外部壳体中的至少一个多孔区域,所述至少一个多孔区域具有小于所述外部壳体的第二部分的第二密度的第一密度。

2. 如权利要求1所述的铸造制品,其中所述内部通道建立穿过所述回路形成部分的浸出路径。

3. 如权利要求1所述的铸造制品,其包括形成在所述外部壳体中的多个设计失效特征结构。

4. 如权利要求1所述的铸造制品,其中所述设计失效特征结构包括形成在所述外部壳体的肋形成壁中的变薄部分。

5. 如权利要求1所述的铸造制品,其中所述设计失效特征结构包括形成在所述外部壳体的肋形成壁中的至少一个多孔区域。

6. 如权利要求5所述的铸造制品,其中所述至少一个多孔区域被构造成向所述内部通道失效。

7. 如权利要求1所述的铸造制品,其中所述设计失效特征结构被构造成向所述内部通道的中心偏斜。

8. 一种制备用于制造燃气涡轮发动机零件的铸造制品的方法,其包括以下步骤:

将粉末状材料传递到增材制造系统,所述粉末状材料包括二氧化硅材料、氧化铝材料和耐熔金属材料中的至少一种;以及

使用所述增材制造系统来逐层制造铸造制品,所述铸造制品包括多个回路形成部分,所述回路形成部分中的至少一个包括由外部壳体围绕的内部通道和形成在所述外部壳体中的设计失效特征结构,所述设计失效特征结构被构造成增加所述铸造制品在铸造过程期间的可压缩性,

其中所述设计失效特征结构包括形成在所述外部壳体中的变薄部分;或者,其中所述燃气涡轮发动机零件包括翼面,所述翼面包括压力侧和吸力侧,所述设计失效特征结构包括内部支撑件,所述内部支撑件在所述外部壳体的吸力侧形成壁与压力侧形成壁之间延伸,所述内部支撑件在固化期间使模芯偏斜重定向到所述外部壳体的肋形成壁。

9. 如权利要求8所述的方法,其中所述内部通道建立穿过所述回路形成部分的中空开口。

10. 如权利要求8所述的方法,其中使用所述增材制造系统的步骤包括:

使第一层的所述粉末状材料熔融,以便形成所述铸造制品的第一剖面层;

在所述第一剖面层顶部上撒布第二层的所述粉末状材料;以及

使所述第二层熔融,以便形成所述铸造制品的第二剖面层。

用于制造燃气涡轮发动机零件的增材制造的铸造制品

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求2014年10月31日提交的美国临时申请号62/073,200的优先权。

技术领域

[0003] 本公开总体上涉及增材制造的铸造制品及其制备方法。所述铸造制品可用来铸造具有所需的内部冷却回路的燃气涡轮发动机零件。

背景技术

[0004] 燃气涡轮发动机通常包括压缩机部分、燃烧室部分和涡轮部分。通常,在运行期间,空气在压缩机部分中被增压,并且在燃烧室部分中与燃料混合并且燃烧,以产生热燃烧气体。所述热燃烧气体流过涡轮部分,所述涡轮部分从热燃烧气体提取能量,以便为压缩机部分和其他发动机负载提供动力。

[0005] 由于燃气涡轮发动机零件暴露至热燃烧气体,因此多个燃气涡轮发动机零件可包括内部冷却特征结构。可从压缩机部分提取专用的冷却空气并且通过内部冷却特征结构分布在整个零件中,从而冷却所述零件。通常这些零件是使用熔模铸造过程铸造的。具有固定到彼此的两个或更多个部分的模具限定零件的外表面,并且定位在模具内的模芯形成零件的内部冷却特征结构,包括但不限于冷却通道、冲击孔、肋、微回路或其他结构。所述模芯是必须从铸造后的零件浸出的固体结构。

发明内容

[0006] 根据本公开的另一个示例性方面的铸造制品尤其包括回路形成部分,所述回路形成部分包括内部通道和围绕所述内部通道的外部壳体。设计失效特征结构形成在外部壳体中并且被构造成增加铸造制品在铸造过程期间的可压缩性。

[0007] 在前述铸造制品的另一个非限制性实施方案中,设计失效特征结构包括形成在外部壳体中的变薄部分。变薄部分具有与外部壳体的第二部分相比减小的厚度。

[0008] 在前述铸造制品中的任一者的另一个非限制性实施方案中,设计失效特征结构包括内部支撑件,所述内部支撑件在外部壳体的吸力侧形成壁与压力侧形成壁之间延伸。

[0009] 在前述铸造制品中的任一者的另一个非限制性实施方案中,设计失效特征结构包括形成在外部壳体中的至少一个多孔区域。所述至少一个多孔区域具有小于外部壳体的第二部分的第二密度的第一密度。

[0010] 在前述铸造制品中的任一者的另一个非限制性实施方案中,内部通道建立穿过回路形成部分的浸出路径。

[0011] 在前述铸造制品中的任一者的另一个非限制性实施方案中,多个设计失效特征结构形成在外部壳体中。

[0012] 在前述铸造制品中的任一者的另一个非限制性实施方案中,设计失效特征结构包括形成在外部壳体的肋形成壁中的变薄部分。

[0013] 在前述铸造制品中的任一者的另一个非限制性实施方案中,设计失效特征结构包括形成在外部壳体的肋形成壁中的至少一个多孔区域。

[0014] 在前述铸造制品中的任一者的另一个非限制性实施方案中,所述至少一个多孔区域被构造成向内部通道失效。

[0015] 在前述铸造制品中的任一者的另一个非限制性实施方案中,设计失效特征结构被构造成向内部通道的中心偏斜。

[0016] 根据本公开的另一个示例性方面的制备用于制造燃气涡轮发动机零件的铸造制品的方法尤其包括将粉末状材料传递到增材制造系统。所述粉末状材料包括二氧化硅材料、氧化铝材料和耐熔金属材料中的至少一种。增材制造系统用来逐层制造铸造制品。铸造制品包括多个回路形成部分,所述回路形成部分中的至少一个包括由外部壳体围绕的内部通道。设计失效特征结构形成在外部壳体中。

[0017] 在前述方法中的任一者的另一个非限制性实施方案中,内部通道建立穿过回路形成部分的中空开口。

[0018] 在前述方法中的任一者的另一个非限制性实施方案中,设计失效特征结构包括形成在外部壳体中的变薄部分;内部支撑件,所述内部支撑件在外部壳体的吸力侧形成壁与压力侧形成壁之间延伸;或形成在外部壳体中的多孔区域。

[0019] 在前述方法中的任一者的另一个非限制性实施方案中,使用增材制造系统的步骤包括:使第一层粉末状材料熔融以便形成铸造制品的第一剖面层,在第一剖面层顶部上撒布第二层粉末状材料,并且使所述第二层熔融以便形成铸造制品的第二剖面层。

[0020] 在前述方法中的任一者的另一个非限制性实施方案中,设计失效特征结构包括内部支撑件,所述内部支撑件在外部壳体的吸力侧形成壁与压力侧形成壁之间延伸。

[0021] 在前述方法中的任一者的另一个非限制性实施方案中,设计失效特征结构包括形成在外部壳体中的至少一个多孔区域。

[0022] 前述段落、权利要求或下面的说明和附图中的实施方案、实例和替代方案,包括它们的各个方面或各自的个体特征,可被独立地或以任何组合的方式采用。结合一个实施方案描述的特征可应用于所有实施方案,除非此类特征是不兼容的。

[0023] 从以下具体实施方式中本公开的各种特征和优点将对本领域技术人员是显而易见的。具体实施方式所附的附图可简述如下。

附图说明

[0024] 图1示出燃气涡轮发动机的示意性剖视图。

[0025] 图2示出燃气涡轮发动机零件。

[0026] 图3示出去除模芯之前的图2的燃气涡轮发动机零件。

[0027] 图4示出另一个燃气涡轮发动机零件。

[0028] 图5示出用于构造铸造制品的增材制造系统。

[0029] 图6示出根据本公开的第一实施方案的铸造制品。

[0030] 图7示出穿过图6的铸造制品的截面A-A的剖视图。

[0031] 图8示出根据本公开的第二实施方案的铸造制品。

[0032] 图9示出穿过图8的铸造制品的截面A-A的剖视图。

- [0033] 图10示出模芯的设计失效特征结构。
- [0034] 图11示出模芯的另一个设计失效特征结构。
- [0035] 图12A、图12B和图12C示意性地示出模芯的设计失效特征结构在铸造过程期间的偏斜。
- [0036] 图13示出可被增材制造的铸造系统。

具体实施方式

[0037] 本公开描述增材制造的铸造制品,诸如模芯。增材制造系统可用来逐层构建铸造制品。铸造制品包括多个回路形成部分。回路形成部分可被形成具有内部通道。在一些实施方案中,铸造制品建立用于接收浸出流体的浸出路径。浸出路径减少了使模芯从铸造后的燃气涡轮发动机零件溶解所必需的时间量。在另一个实施方案中,铸造制品装配有设计失效区域。所述设计失效区域允许回路形成部分在零件固化期间在非关键位置处偏斜、压损或塌陷,从而避免损坏铸造零件。这些和其他特征结构在本详细说明的以下段落中更加详细地讨论。

[0038] 图1示意性示出燃气涡轮发动机20。在一个非限制性实施方案中,示例性燃气涡轮发动机20为双转子涡扇发动机,所述燃气涡轮发动机20大体上并入:风扇部分22、压缩机部分24、燃烧室部分26和涡轮部分28。除了作为特征结构的其他系统之外,替代发动机可包括增压器部分(未示出)。风扇部分22沿旁路流动路径B驱动空气,同时压缩机部分24沿模芯流动路径C驱动空气以便压缩空气并传递到燃烧室部分26中。在燃烧室部分26中所产生的热燃烧气体通过涡轮部分28膨胀。尽管在所公开的非限制性实施方案中描述为涡扇燃气涡轮发动机,但应当理解,本文所描述的概念不限于涡扇发动机,并且这些教导可扩展至其他类型的发动机,包括但不限于,三转子发动机架构。

[0039] 燃气涡轮发动机20大体上包括经安装用于围绕发动机中心线纵轴A旋转的低速转子30和高速转子32。可通过若干轴承系统31来相对于发动机静态结构33安装低速转子30和高速转子32。应当理解,可另选地或另外地提供其他轴承系统31。

[0040] 低速转子30大体上包括使风扇36、低压压缩机38和低压涡轮39互连的内轴34。内轴34可通过齿轮架构45连接至风扇36以便以比低速转子30更低的速度驱动风扇36。高速转子32包括使高压压缩机37和高压涡轮40互连的外轴35。在这个实施方案中,内轴34和外轴35由定位在发动机静态结构33内的轴承系统31支撑在各个轴向位置处。

[0041] 燃烧室42被布置在高压压缩机37与高压涡轮40之间。中间涡轮框架44可被大体上布置在高压涡轮40与低压涡轮39之间。中间涡轮框架44可支撑涡轮部分28的一个或多个轴承系统31。中间涡轮框架44可包括在模芯流动路径C内延伸的一个或多个翼面46。

[0042] 内轴34和外轴35为同轴的并且通过轴承系统31围绕发动机中心线纵轴A旋转,所述发动机中心线纵轴A与它们的纵轴共线。模芯气流被低压压缩机38和高压压缩机37压缩,在燃烧室42中与燃料混合并燃烧,并且然后通过高压涡轮40和低压涡轮39膨胀。高压涡轮40和低压涡轮39响应于所述膨胀来旋转地驱动相应的高速转子32和低速转子30。

[0043] 低压涡轮39的压力比可为在低压涡轮39的入口之前测量的压力与在低压涡轮39的出口处并且在燃气涡轮发动机20的排气喷嘴前的压力的比值。在一个非限制性实施方案中,燃气涡轮发动机20的旁通比大于约十(10:1),风扇直径明显大于低压压缩机38的直径,

并且低压涡轮39具有大于约五(5:1)的压力比。然而,应当理解,以上参数仅为齿轮架构发动机的一个实施方案的实例,并且本公开可应用于其他燃气涡轮发动机,包括直接驱动涡轮。

[0044] 在示例性燃气涡轮发动机20的这个实施方案中,由于高旁通比,由旁路流动路径B提供了大量的推力。燃气涡轮发动机20的风扇部分22被设计用于特定飞行条件—通常以约0.8马赫和约35,000英尺巡航。在燃气涡轮发动机20处于其最佳燃料消耗的情况下,这个飞行条件也被称为稳定巡航推力燃料消耗率(TSFC)。TSFC是每单位推力燃料消耗的工业标准参数。

[0045] 风扇压力比是在未使用风扇出口导向轮叶系统的情况下风扇部分22的叶片上的压力比。根据示例性燃气涡轮发动机20的一个非限制性实施方案的低风扇压力比小于1.45。低校正风扇叶尖速度为实际风扇叶尖速度除以 $[(T_{ram} / T_{ref}) / (518.7 / 273.15)]^{0.5}$ 的工业标准温度校正。根据示例性燃气涡轮发动机20的一个非限制性实施方案的低校正风扇叶尖速度小于约1150 fps (351 m/s)。

[0046] 压缩机部分24和涡轮部分28中的每一个可包括带有延伸到模芯流动路径C中的翼面的转子组件和轮叶组件(示意性示出)的交替行。例如,转子组件可带有多个旋转叶片25,同时每个轮叶组件可带有延伸到模芯流动路径C中的多个轮叶27。叶片25从通过燃气涡轮发动机20沿模芯流动路径C传输的模芯气流产生或提取能量(以压力的形式)。轮叶27将模芯气流引导到叶片25,以便增加或提取能量。

[0047] 燃气涡轮发动机20的各个部件,包括但不限于压缩机部分24和涡轮部分28的叶片25和轮叶27的翼面,可在广泛的温度和压力范围下经受重复的热循环。涡轮部分28的硬件尤其经受相对极端的运行条件。因此,一些部件可能需要用于在发动机运行期间冷却零件的内部冷却特征结构。下面更详细地讨论用于铸造具有此类内部冷却特征结构的燃气涡轮发动机零件的增材制造的铸造制品。

[0048] 图2示出可在铸造过程,诸如熔模铸造过程,中制造的零件50。其他制造技术也被认为在本公开的范围之内。在所示出的实施方案中,零件50为燃气涡轮发动机20的涡轮部分28的叶片52。尽管零件50被示出为涡轮叶片52,但本公开的各个特征结构可适用于燃气涡轮发动机的任何制造零件,包括但不限于轮叶、叶片、叶片外气封件(BOAS)或任何其他铸造零件。例如,在第二非限制性实施方案中,零件50可为包括在内平台59与外平台61之间延伸的翼面57的轮叶55(例如,参见图4)。

[0049] 零件50包括平台54、根部56和从平台54在与根部56相反的方向上延伸的翼面58。翼面58包括前缘60、后缘62、压力侧64和吸力侧66。

[0050] 零件50可另外包括用于冷却零件50的内部回路74。内部回路74可包括内部冷却通道68A、68B、68C以及各种微回路、皮芯、冷却孔、后缘出口或其他内部冷却特征结构。内部冷却通道68A、68B、68C以及各种其他内部冷却特征结构限定了内部回路74。零件50的内部回路74仅代表许多潜在的冷却回路的一个实例,并且所示实例并非意在限制本公开。换句话说,可另选或另外地将各种替代冷却通道和内部回路构型铸造到零件50中。内部回路74的实际设计可取决于零件50的冷却需求等其他因素。

[0051] 在运行中,冷却气流,诸如来自压缩机部分24(参见图1)的漏出气流,被通过内部冷却通道68A、68B、68C传递,并且可通过任何内部冷却特征结构流通。冷却气流通过内部回

路74流通,以便冷却零件50。

[0052] 图3示出去除模芯76之前的图2的零件50。模芯76在制造过程期间可被用作铸造系统的一部分以限定零件50的内部回路74(参见图2)。模芯76可被去除,诸如在浸出操作中,从而产生图2中所示的零件50。

[0053] 模芯76包括适于形成内部回路74(内部冷却通道68A、68B、68C和任何其他内部冷却特征结构二者)的各个特征结构的模芯几何结构。在一个实施方案中,模芯76为耐熔金属芯,所述耐熔金属芯由耐熔金属诸如钨、钨、铌、钽、铪或其他耐熔金属材料制成。耐熔金属的使用赋予模芯76具有经受相对高的铸造温度并且提供某种程度的延展性和断裂韧性的能力。在另一个实施方案中,陶瓷、二氧化硅或氧化铝材料可用来形成模芯76。在另一个实施方案中,材料的任何组合,包括但不限于耐熔金属、陶瓷、二氧化硅和氧化铝,可用来制备模芯76。

[0054] 模芯76可使用增材制造过程进行制备。下面详细描述了用于制备模芯的示例性增材制造系统和方法。

[0055] 图5示出增材制造系统78,所述增材制造系统78可用来制造铸造制品,诸如图3的模芯76或铸造系统的任何其他铸造制品,包括模芯、壳、门等(参见图12,例如铸造系统)。在一个实施方案中,增材制造系统78包括递送平台80、构建平台82、撒布机84和熔融装置86(或烧结装置)。递送平台80携带粉末状材料88,诸如耐熔金属粉末、二氧化硅粉末、氧化铝粉末或包括此类粉末中的至少两种的组合。构建平台82是基底,模芯76在所述构建平台82上增材构建。熔融装置86可包括激光或电子束熔融装置,尽管其他熔融和/或烧结装置也可被考虑。

[0056] 在增材制造系统78的一个非限制性使用中,递送平台80可在第一方向D1上移动,以便使粉末状材料88相对于构建平台82定位。撒布机84可在第二方向D2上移动(即,垂直于第一方向D1),以便在构建平台82上撒布一薄层的粉末状材料88。熔融装置86可然后被致动来在模芯76的几何结构待存在以制备模芯76的第一层L1的位置处使该层粉末状材料88熔融。在熔融步骤之后,粉末状材料88的一些部分可保留在模芯76内。这种粉末状材料88可被去除或保留在模芯76内部以提供支撑。

[0057] 一旦完成第一层L1,构建平台82就可在方向D3(方向D1的反向)上移动。在一个实施方案中,构建平台82在方向D3上移动等于约一层的距离。接着,可通过撒布机84将另一层粉末状材料88沉积在构建平台82上。例如,该层粉末状材料88可被撒布在先前形成的第一层L1上。熔融装置86使第二层粉末状材料88熔融以制备模芯76的第二层L2。在熔融过程中,第二层L2被粘附到第一层L1。这种逐层过程可被重复Ln层的总数次,直到具有所需模芯几何结构的整个模芯76已被增材构建。

[0058] 在一个实施方案中,模芯76的层L1至层Ln可根据CAD数据90来彼此接合,所述CAD数据90限定模芯76的所需几何结构的剖面。CAD数据90被传递到增材制造系统78,并且提供用于制造模芯76的必要数值数据。

[0059] 以上描述的增材制造系统78和使用方法仅为用于增材制造铸造工具制品诸如模芯、壳或其他制品的一个示例性构型。应当理解,增材制造系统78可包括未参考图5的高度示意性描绘进行描述的另外的特征结构。

[0060] 在各层逐个剖面地在彼此之上构建并且彼此接合的情况下,可产生具有任何所需

的模芯几何结构的模芯76。例如，增材制造的模芯可被制造成具有提供内部通道的模芯几何结构。在一个实施方案中，内部通道建立用于更加有效且高效地将模芯76从铸造零件浸出的浸出路径。在另一个实施方案中，内部通道包括用于在铸造过程期间增强模芯可压缩性的设计失效特征结构。图6-9示出可使用类似上述的增材制造系统和过程来产生的多个模芯几何结构。本公开不限于所示的精确模芯几何结构，并且应当理解，任何铸造制品都可被增材制造成包括特征结构的任何组合，包括图6-9中所示的特征结构的任何组合。

[0061] 图6和图7示出根据本公开的第一实施方案的示例性铸造模芯76。模芯76可被增材制造成包括模芯几何结构92，所述模芯几何结构92限定铸造燃气涡轮发动机零件的所需内部回路的空间负结构。模芯几何结构92可包括一个或多个回路形成部分—在此为回路形成部分98A、98B和98C。在另一个实施方案中，模芯几何结构92包括用于使回路形成部分98A、98B和98C中的一个或多个的定位稳定的稳定器部分96（参见图6）。在铸造过程期间，回路形成部分98A、98B和98C形成铸造燃气涡轮发动机零件的各个通道和特征结构（例如，参见图2的内部回路74）。在一些实施方案中，作为一个非限制性实例，稳定器部分96还可建立铸造零件的内部回路的一部分，诸如尖端气室。

[0062] 在另一个非限制性实施方案中，模芯几何结构92包括前缘回路形成部分98A、蛇形回路形成部分98B和后缘回路形成部分98C。前缘回路形成部分98A被构造成形成在铸造零件内的前缘冷却回路，蛇形回路形成部分98B被构造成形成在铸造零件内的蛇形冷却回路，并且后缘回路形成部分98C被构造成形成在铸造零件内的后缘冷却回路。示例性模芯几何结构92仅为一个可能的模芯几何结构设计的非限制性实例。其他构型也被认为在本公开的范围之内。

[0063] 模芯76的回路形成部分98A、98B和98C中的一个或多个可被增材制造成包括内部通道（参见图7，标记为91A或91B）。内部通道91A或91B建立穿过中空开口的回路形成部分98A、98B和98C，用于从铸造后的零件将模芯76浸出。通过利用诸如上面所述的增材制造技术，模芯76可被形成为包括内部通道91A和/或91B，所述内部通道91A和/或91B允许使模芯76以比先前已知的浸出方法高得多的速率从铸造零件溶解。在一些实施方案中，与传统固体模芯相比，内部通道91A、91B允许在模芯76与浸出介质之间的更高的扩散锋。

[0064] 内部通道91A、91B可体现各种大小和形状。例如，在一个实施方案中，回路形成部分98A、98B和98C中的一个或多个包括被构造为高对流通道的多个内部通道91A，所述高对流通道的维持相对薄的边界层和因此增加的模芯76材料进入被迫穿过内部通道91A的浸出流体的扩散。在所示实施方案中，前缘回路形成部分98A和蛇形回路形成部分98B的第一支脚93A包括“高对流”类型的内部通道91A。内部通道91A中的一些可通过前缘回路形成部分98A彼此连接，如所示。

[0065] 在另一个实施方案中，回路形成部分98A、98B和98C中的一个或多个包括单个内部通道91B，所述内部通道91B给出存在于其中的回路的内部轮廓。轮廓内部通道91B使回路与浸出流体接触的面积最大化。在包括内部通道91B的实施方案中，回路形成部分98A、98B和98C的大多数表面积被由内部通道91B所建立的空隙所围绕。换句话说，包括内部通道91B的回路形成部分98A、98B和98C的仅有固体部分为围绕内部通道91B的外部壳体95。内部通道91B可用于低至零流动浸出情况，诸如在浸出操作期间可能遇到使用浸没水箱的情况。在所示实施方案中，蛇形回路形成部分98B的第二支脚93B和第三支脚93C包括“最大表面积”

类型的内部通道91B。

[0066] 在另一个实施方案中,模芯几何结构92可被设计成仅包括内部通道91A、仅包括内部通道91B或内部通道91A和91B的组合。尽管未示出,但内部通道91A、91B可包括边界层破坏装置诸如断路条带或基座阵列,以便促进模芯76材料扩散到浸出流体中。

[0067] 内部通道91A、91B建立穿过每个回路形成部分98A、98B和98C的浸出路径P(参见图6)。每个回路形成部分98A、98B和98C可包括入口97和至少一个出口99。浸出流体F可被传递到入口97中,沿浸出路径P环行,并且然后通过出口99排出,从而将模芯76从铸造零件浸出。

[0068] 在另一个浸出实施方案中,可将磨蚀悬浮剂与浸出流体组合使用,以便去除模芯76。磨蚀悬浮剂可包括氧化铝颗粒、二氧化硅颗粒、耐熔金属颗粒等。在一个实施方案中,磨蚀悬浮剂可包括由与增材制造模芯76相同的材料制成的颗粒。

[0069] 图8和图9示出根据本公开的另一个实施方案的模芯176。在本公开中,相同的参考数字在适当情况下表示相同元件,并且参考数字加上100或其倍数表示被理解成并入对应原始元件的相同特征和益处的改进元件。

[0070] 在这个实施方案中,使用增材制造过程形成模芯176以包括具有一个或多个回路形成部分198的模芯几何结构192。一个或多个回路形成部分198可包括内部通道191。每个内部通道191可被外部壳体195围绕。

[0071] 外部壳体195中的一些可被设计成包括设计失效特征结构175。设计失效特征结构175被设计成允许模芯176在零件固化期间失效(即,偏斜、压损或塌陷等),从而避免损坏铸件的关键表面。通过在轮廓为非关键的或最先固化(使得模塑表面的需要不必要)的位置中设计较低负荷能力的位置,可使得模芯176更顺从于固化收缩、其他更严格公差的位置或更晚固化的位置。在一个实施方案中,图9中所示,设计失效特征结构175包括外部壳体195的包括第一壁厚度T1的变薄部分177,所述第一壁厚度T1是与外部壳体195的另一个部分的第二厚度T2相比减小的厚度。模芯176在固化期间在变薄部分177处可能塌陷或偏斜,从而通过顺从铸造材料的周围固化来避免损坏铸件。在一个实施方案中,模芯176朝向回路形成部分198的内部塌陷或偏斜。变薄部分177可被提供在外部壳体195的任一位置处,以用于减小所述位置处的硬度。在一个实施方案中,变薄部分177被提供在外部壳体195的非关键位置处,诸如在肋形成壁179内。

[0072] 在另一个实施方案中,图10中所示,设计失效特征结构175包括内部支撑件181,所述内部支撑件181在外部壳体195的吸力侧形成壁183与压力侧形成壁185之间、在内部通道191内延伸。内部支撑件181在固化期间使模芯偏斜重定向到非关键位置,诸如肋形成壁179。内部支撑件181可包括任何径向长度。

[0073] 在另一个实施方案中,图11中所示,设计失效特征结构175包括形成到外部壳体195中的一个或多个多孔区域187。在一个实施方案中,多孔区域187形成在肋形成壁179内。其他位置也是可能的。多孔区域187比外部壳体195的其他部分密度低,并且因此被构造成在固化期间在优选的位置处偏斜、压损、塌陷等。在一个实施方案中,多孔区域187响应于在固化期间出现的压力向内部通道191失效。

[0074] 图12A、图12B和图12C示意性示出模芯176的设计失效特征结构175在铸造过程期间的表现。设计失效特征结构175可在熔融金属M的固化期间朝向内部通道191的中心C(参

见图12C) 偏斜,以便允许模芯围绕内部通道191顺从。在铸造过程的时间T0处,图12A所示,模芯176,包括回路形成部分198,被封装在熔融金属M内。

[0075] 图12B示出在时间T1处的铸造过程,其中熔融金属M的部分已固化,从而形成固体金属部分SM。最初的固化发生在设计失效特征结构175附近,因为这些区域由于减小的厚度、密度等而具有局部较低的热质量。

[0076] 图12C示出在时间T2处的铸造过程,其中固化锋已围绕回路形成部分198的转角朝向回路形成部分198的较厚部分前进。如从图12C中明显看出,熔融金属M的固化已导致沿铸件的纵向方向明显的有界限的向模芯176收缩。设计失效特征结构175可因此在箭头AR的方向上弯曲远离已固化的固体金属部分SM,同时保留足够的硬度以适应任何进一步的固化。

[0077] 图13示出可用来铸造燃气涡轮发动机零件的铸造系统200。铸造系统200包括一个或多个铸造制品。在一个实施方案中,铸造系统200包括形成铸造燃气涡轮发动机零件的内部特征结构的模芯276,和用于形成铸造燃气涡轮发动机零件的外部特征结构的壳204。模芯276可包括任何上述的模芯几何结构或任何其他几何结构。铸造系统200可另外包括闸、铸口杯、冒口等。整个铸造系统200,或仅其部分,可使用上述系统或方法增材制造。

[0078] 尽管不同的非限制性实施方案被示出为具有特定的部件,但本公开的实施方案不限于那些特定的组合。使用来自非限制性实施方案中的任一个的部件或特征结构中的一些与来自其他非限制性实施方案中的任一个的特征结构和部件组合是可能的。

[0079] 应当理解,相同的参考数字在若干附图中表示对应的或相似的元件。还应当理解,尽管在这些示例性实施方案中公开并示出了特定的部件布置,但其他布置也可从本公开的教导中受益。

[0080] 以上描述应该被解释为示例性的,并且不具有限制含义。本领域技术人员将理解某些修改落入本公开的范围。由于这些原因,应研习所附权利要求书来确定本公开的真实范围和内容。

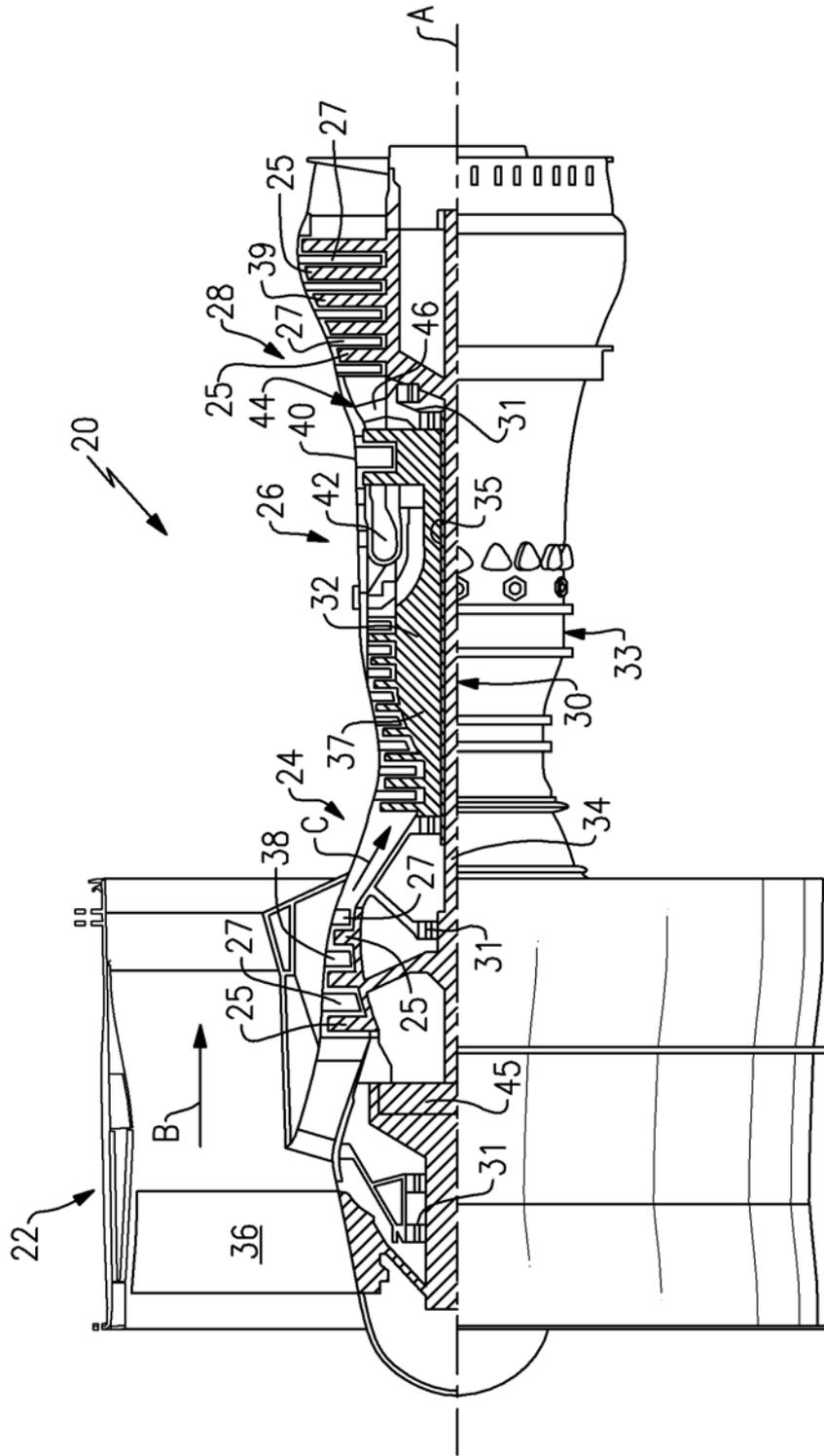


图 1

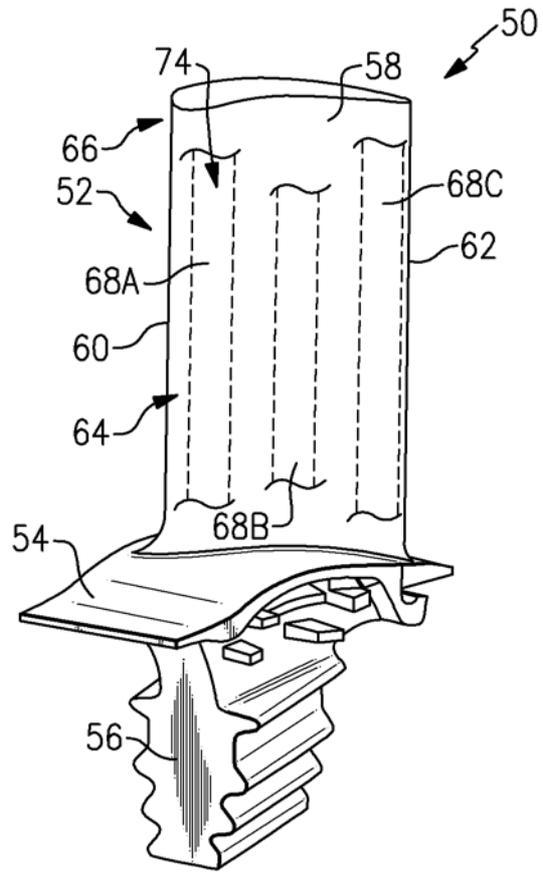


图 2

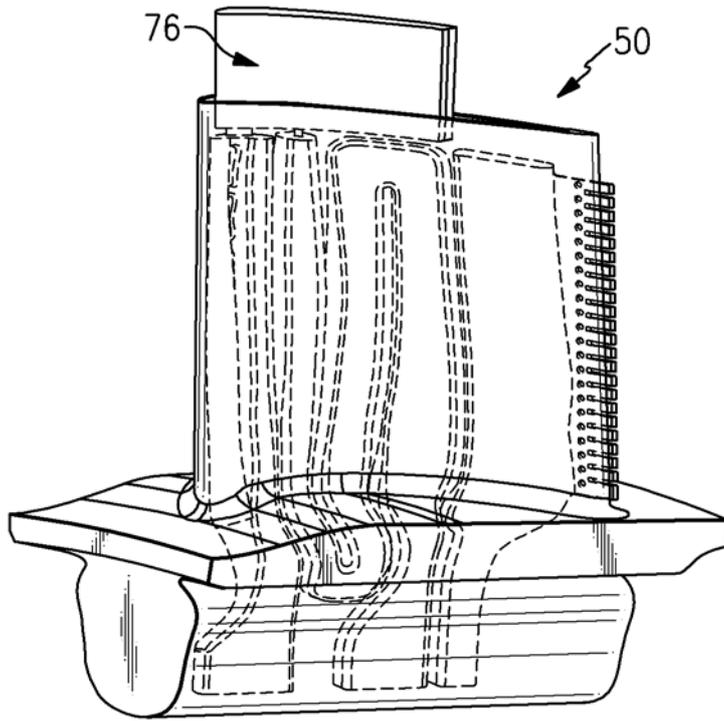


图 3

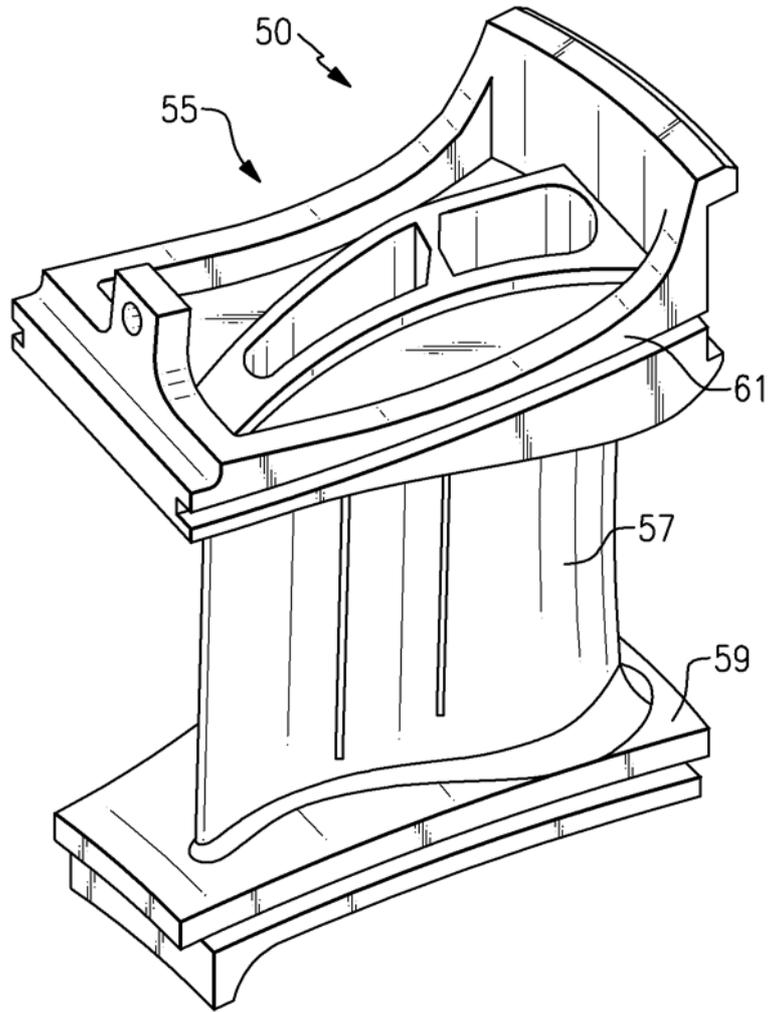


图 4

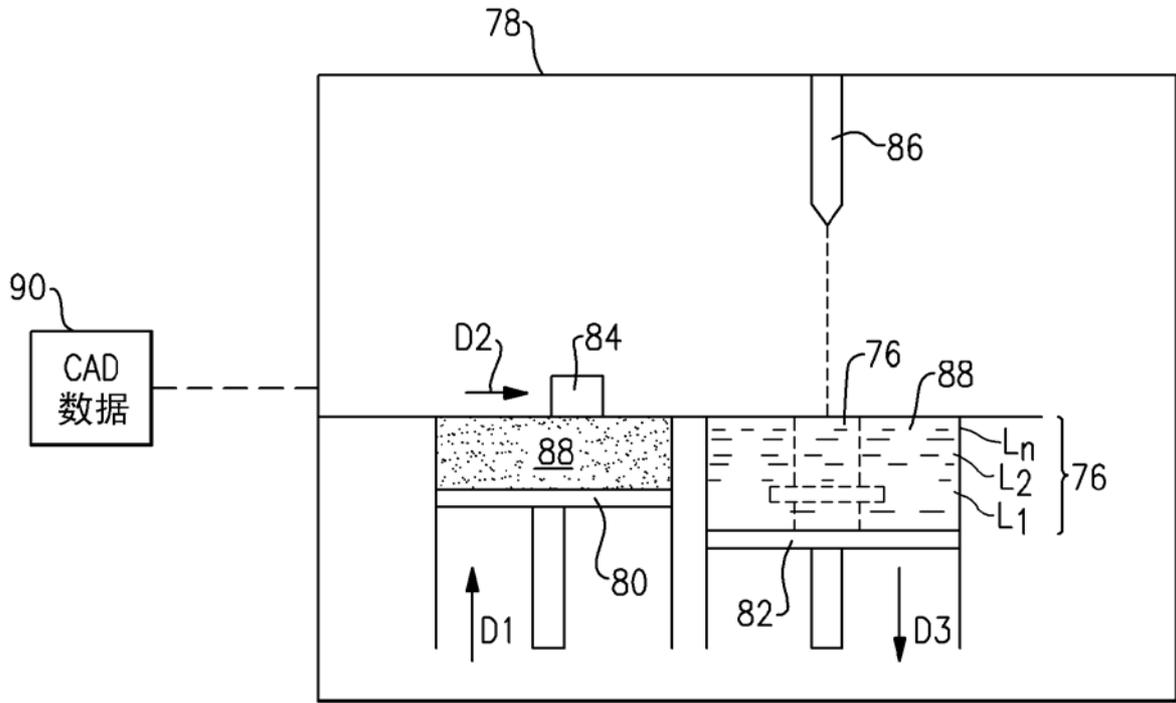


图 5

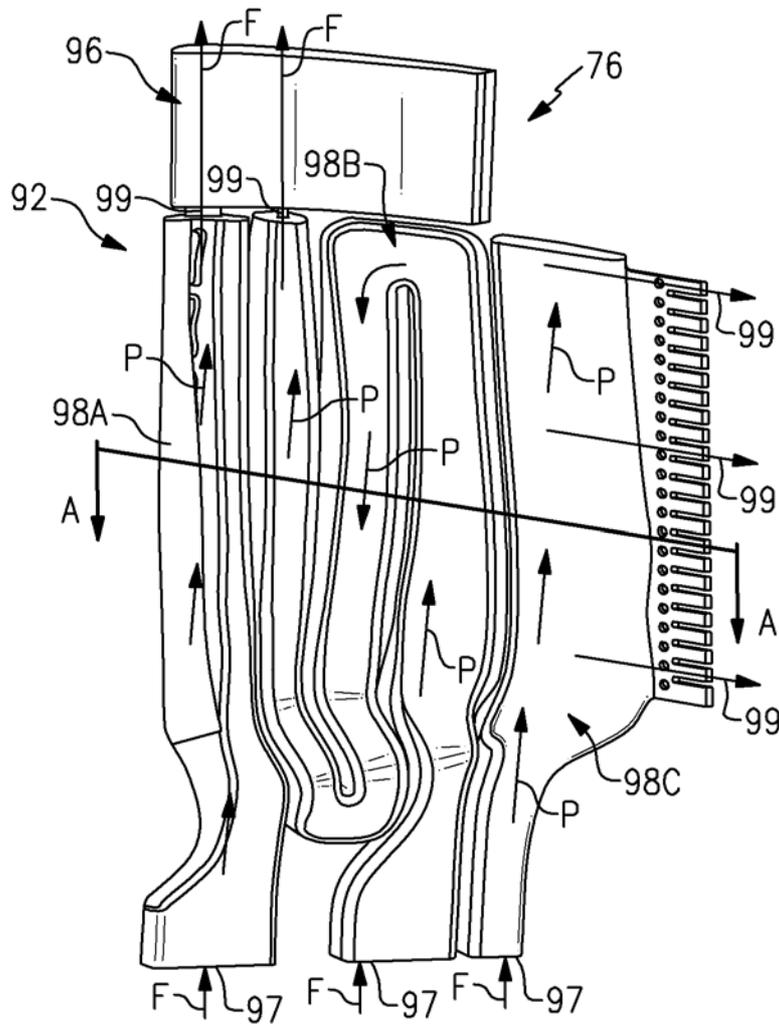


图 6

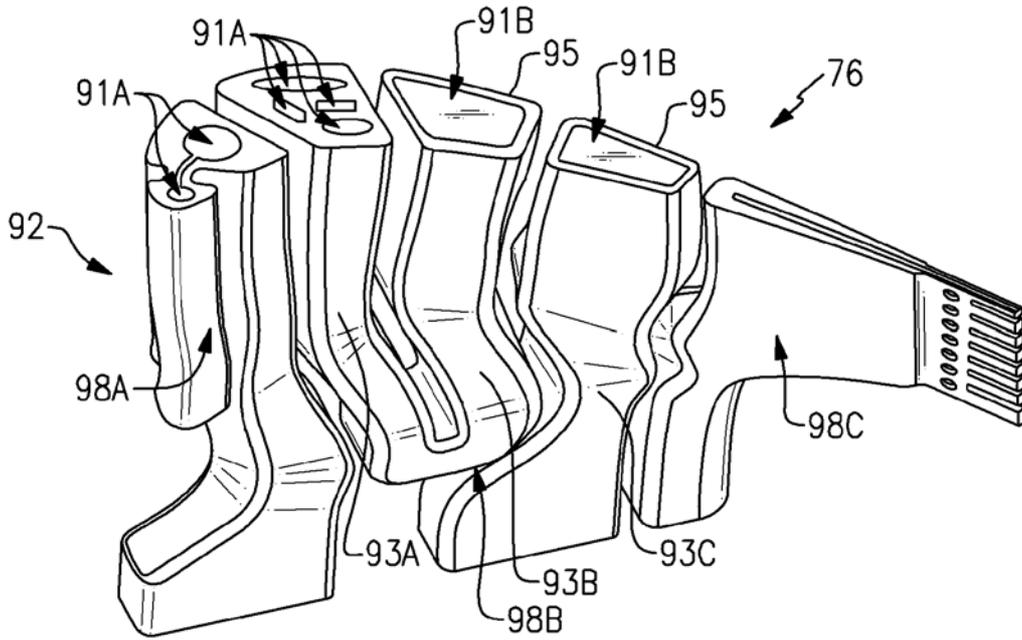


图 7

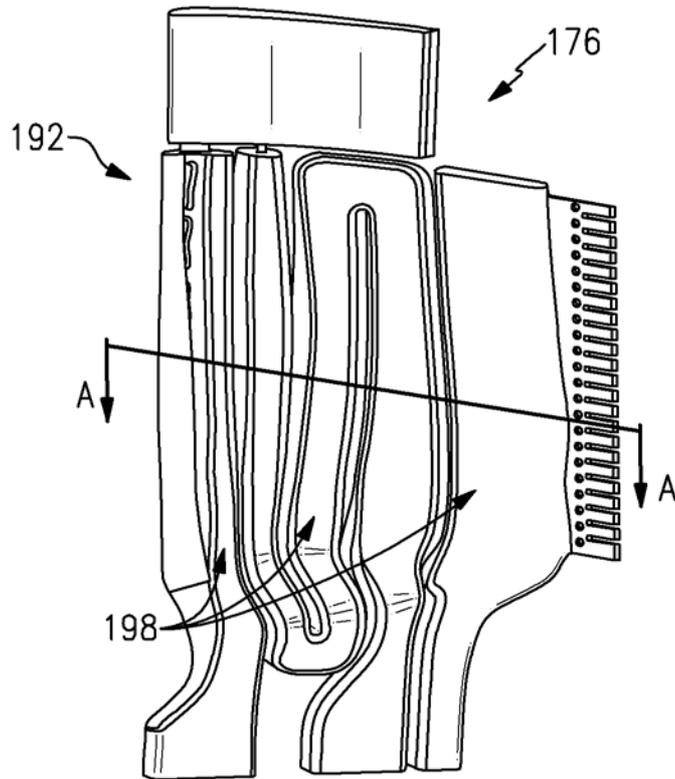


图 8

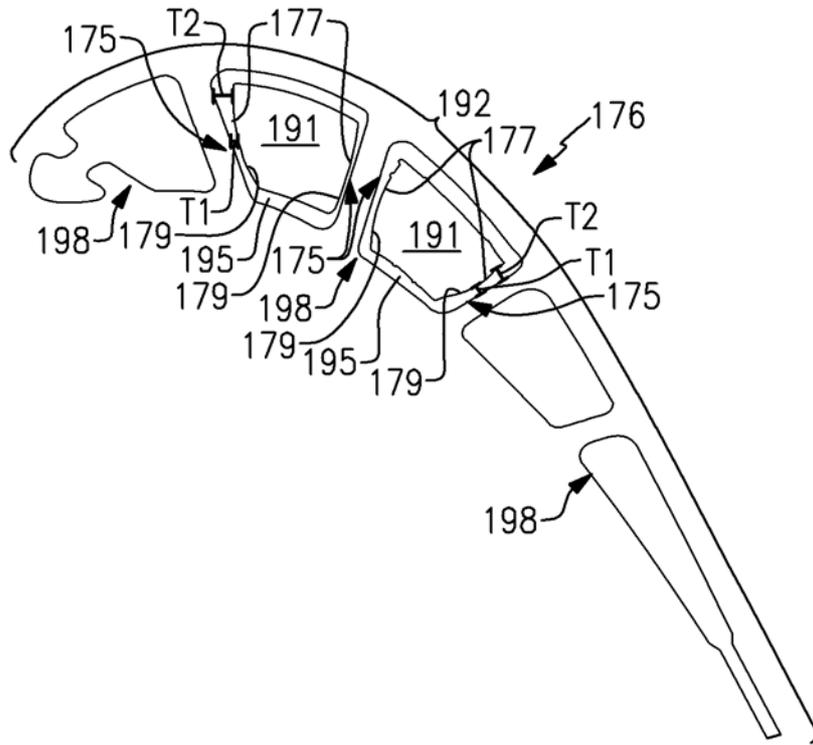


图 9

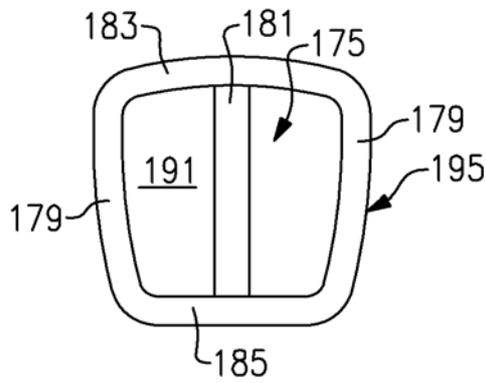


图 10

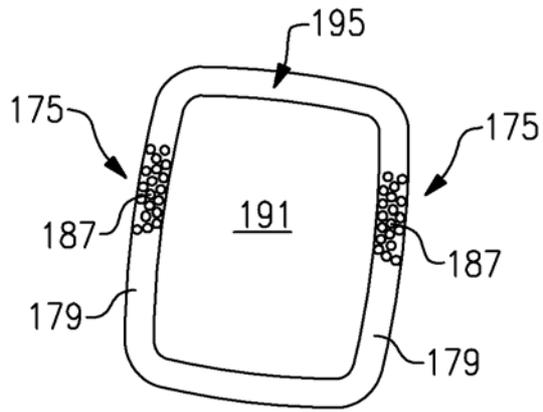


图 11

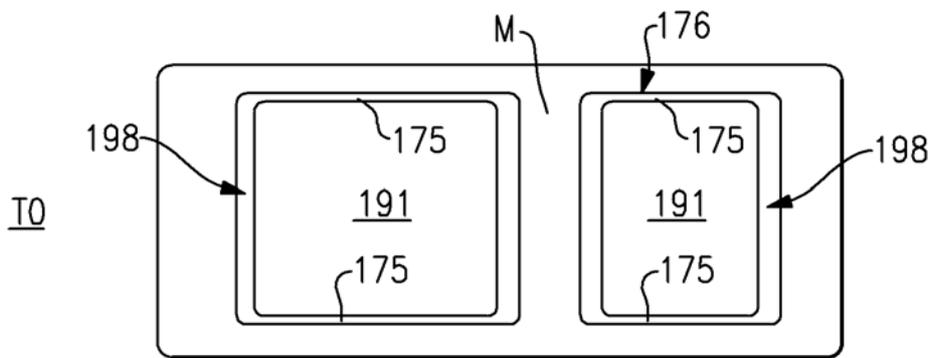


图 12A

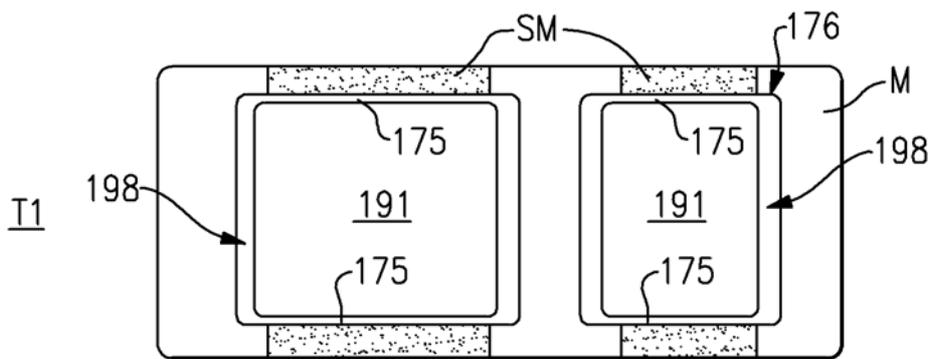


图 12B

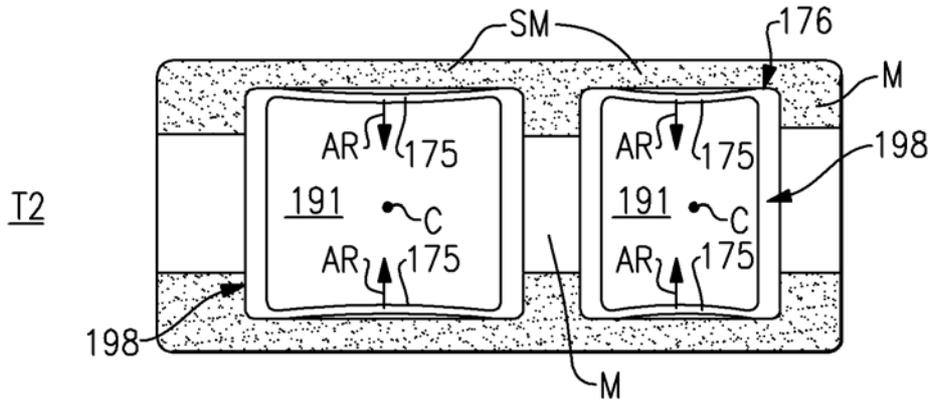


图 12C

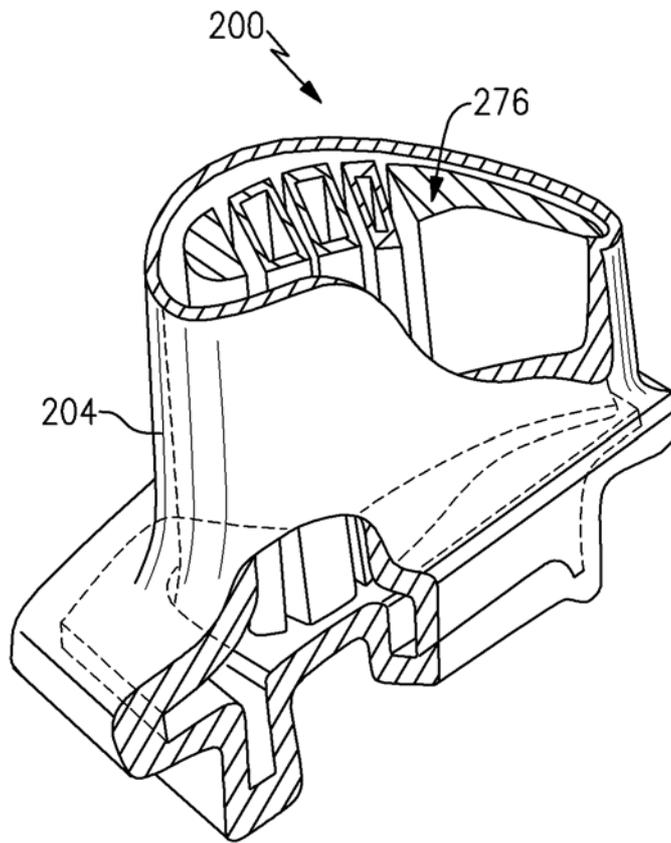


图 13