



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103850729 B

(45)授权公告日 2017.07.04

(21)申请号 201310447585.7

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2013.09.27

F01D 25/06(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

审查员 靳文强

申请公布号 CN 103850729 A

(43)申请公布日 2014.06.11

(30)优先权数据

13/687027 2012.11.28 US

(73)专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72)发明人 H.C.罗伯茨三世 C.A.约翰逊

G.C.塔克萨彻尔

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 肖日松 胡斌

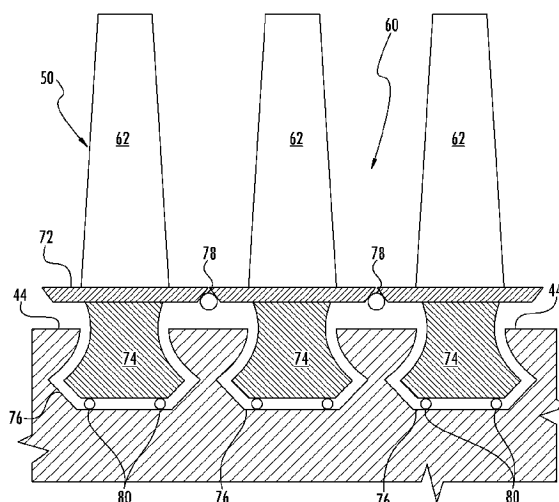
权利要求书1页 说明书7页 附图8页

(54)发明名称

用于阻尼涡轮中的振动的系统

(57)摘要

本发明涉及一种用于阻尼涡轮中的振动的系统,该系统包括第一旋转叶片,第一旋转叶片具有第一陶瓷翼型件、连接于第一陶瓷翼型件的第一陶瓷平台、和连接于第一陶瓷平台的第一根部。与第一旋转叶片相邻的第二旋转叶片包括第二陶瓷翼型件、连接于第二陶瓷翼型件的第二陶瓷平台、和连接于第二陶瓷平台的第二根部。非金属平台阻尼器具有同时与第一陶瓷平台和第二陶瓷平台接触的第一位置。



1. 一种用于阻尼涡轮中的振动的系统,包括:

第一旋转叶片,所述第一旋转叶片具有第一陶瓷翼型件、连接于所述第一陶瓷翼型件的第一陶瓷平台、和连接于所述第一陶瓷平台的第一根部;

与所述第一旋转叶片相邻的第二旋转叶片,其中,所述第二旋转叶片包括第二陶瓷翼型件、连接于所述第二陶瓷翼型件的第二陶瓷平台、和连接于所述第二陶瓷平台的第二根部;和

非金属平台阻尼器,所述非金属平台阻尼器具有同时与所述第一陶瓷平台和所述第二陶瓷平台接触的第一位置,所述非金属平台阻尼器包括连接于彼此的多个球体。

2. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述第一根部和所述第二根部为陶瓷的。

3. 根据权利要求2所述的系统,其特征在于,还包括非金属根部阻尼器,所述非金属根部阻尼器具有同时与所述第一根部和所述第二根部接触的第一位置。

4. 根据权利要求2所述的系统,其特征在于,还包括非金属根部阻尼器,所述非金属根部阻尼器具有同时与所述第一根部和转子叶轮接触的第一位置。

5. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述非金属平台阻尼器包括氧化锆、多晶氧化铝、蓝宝石、碳化硅、或氮化硅中的至少一种。

6. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述非金属平台阻尼器具有三角形截面或六边形截面中的至少一种。

7. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述非金属平台阻尼器包括多个节段。

8. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述非金属平台阻尼器为中空。

用于阻尼涡轮中的振动的系统

[0001] 联邦研究声明

[0002] 本发明是在能源部授予的合同No.DE-FC26-05NT42643下通过政府支持而完成的。政府享有本发明中的某些权利。

技术领域

[0003] 本公开大致涉及用于阻尼涡轮中的振动的系统。在具体实施例中,该系统可用于阻尼由陶瓷基复合物(CMC)材料制成的相邻的旋转叶片中的振动。

背景技术

[0004] 涡轮广泛用于多种航空、工业和发电应用中以做功。各个涡轮大致包括在外周安装的定子导叶和旋转叶片的交替级。定子导叶可附接于静止的构件,诸如包围涡轮的外壳,且旋转叶片可附接于沿涡轮的轴向中心线定位的转子上。压缩工作流体(诸如蒸汽、燃烧气体、或空气)沿穿过涡轮的热气体通路流动以产生功。定子导叶将压缩工作流体加速且引导到后一级旋转叶片上,以将运动给予旋转叶片,从而转动转子且做功。

[0005] 各个旋转叶片大致包括连接于平台的翼型件,其限定热气体通路的至少一部分。平台又连接于根部,该根部可滑入转子中的槽道中,以将旋转叶片保持于适当的位置。备选地,根部可滑入适配器中,该适配器又滑入转子中的槽道中。在操作速度下,旋转叶片可能以自然频率或共振频率振动,振动在根部、适配器和/或槽道中产生可导致加速的材料疲劳的应力。因此,已经开发了各种阻尼器系统,以阻尼相邻的旋转叶片之间的振动。在一些阻尼器系统中,金属杆或阻尼器插入相邻的平台、相邻的适配器之间、和/或根部与适配器或转子之间。在操作速度下,阻尼器的重量使阻尼器抵靠互补的表面,以相对于表面施加力且阻尼振动。

[0006] 较高的操作温度通常导致改善的热力效率和/或增加的功率输出。较高的操作温度还导致沿热气体通路的各种构件的增加的腐蚀、蠕变和低循环疲劳。结果,陶瓷材料复合物(CMC)材料逐渐结合到暴露于与热气体通路相关联的高温构件中。由于CMC材料变得结合到旋转叶片的翼型件、平台和/或根部中,故旋转叶片的陶瓷表面更容易磨损常规的金属阻尼器。金属阻尼器的增加的磨损可沿热气体通路产生额外的外来物体碎片并且/或者减小阻尼器的质量,从而减小由阻尼器产生的阻尼力。因此,用于阻尼涡轮中的振动的改善的系统将是有益的。

发明内容

[0007] 本发明的方面和优点在下文的以下描述中阐明,或可从该描述中变得明显,或可通过本发明的实践了解到。

[0008] 本发明的一个实施例为一种用于阻尼涡轮中的振动的系统。该系统包括第一旋转叶片,该第一旋转叶片具有第一陶瓷翼型件、连接于第一陶瓷翼型件的第一陶瓷平台、和连接于第一陶瓷平台的第一根部。与第一旋转叶片相邻的第二旋转叶片包括第二陶瓷翼型

件、连接于第二陶瓷翼型件的第二陶瓷平台、和连接于第二陶瓷平台的第二根部。非金属平台阻尼器具有同时与第一陶瓷平台和第二陶瓷平台接触的第一位置。

[0009] 本发明的另一实施例为一种用于阻尼涡轮中的振动的系统，该系统包括旋转叶片，该旋转叶片具有陶瓷翼型件和连接于陶瓷翼型件的陶瓷根部。适配器构造成将旋转叶片连接于转子叶轮，且非金属根部阻尼器具有同时与陶瓷根部和适配器接触的第一位置。

[0010] 在又一实施例中，一种用于阻尼涡轮中的振动的系统包括第一旋转叶片，该第一旋转叶片具有第一陶瓷翼型件和连接于第一陶瓷翼型件的第一陶瓷根部。与第一旋转叶片相邻的第二旋转叶片包括第二陶瓷翼型件和连接于第二陶瓷翼型件的第二陶瓷根部。非金属根部阻尼器具有同时与第一陶瓷根部和第二陶瓷根部接触的第一位置。

[0011] 一种用于阻尼涡轮中的振动的系统，包括：第一旋转叶片，第一旋转叶片具有第一陶瓷翼型件、连接于第一陶瓷翼型件的第一陶瓷平台、和连接于第一陶瓷平台的第一根部；与第一旋转叶片相邻的第二旋转叶片，其中，第二旋转叶片包括第二陶瓷翼型件、连接于第二陶瓷翼型件的第二陶瓷平台、和连接于第二陶瓷平台的第二根部；和非金属平台阻尼器，非金属平台阻尼器具有同时与第一陶瓷平台和第二陶瓷平台接触的第一位置。

[0012] 优选地，第一根部和第二根部为陶瓷的。

[0013] 优选地，系统还包括非金属根部阻尼器，非金属根部阻尼器具有同时与第一根部和第二根部接触的第一位置。

[0014] 优选地，系统还包括非金属根部阻尼器，非金属根部阻尼器具有同时与第一根部和转子叶轮接触的第一位置。

[0015] 优选地，非金属平台阻尼器包括氧化锆、多晶氧化铝、蓝宝石、碳化硅、或氮化硅中的至少一种。

[0016] 优选地，非金属平台阻尼器具有三角形截面或六边形截面中的至少一种。

[0017] 优选地，非金属平台阻尼器包括连接于彼此的多个球体。

[0018] 优选地，非金属平台阻尼器包括多个节段。

[0019] 优选地，非金属平台阻尼器为中空。

[0020] 一种用于阻尼涡轮中的振动的系统，包括：旋转叶片，旋转叶片具有陶瓷翼型件和连接于陶瓷翼型件的陶瓷根部；适配器，适配器构造成将旋转叶片连接于转子叶轮；和非金属根部阻尼器，非金属根部阻尼器具有同时与陶瓷根部和适配器接触的第一位置。

[0021] 优选地，非金属根部阻尼器包括氧化锆、多晶氧化铝、蓝宝石、碳化硅、或氮化硅中的至少一种。

[0022] 优选地，非金属根部阻尼器具有三角形截面或六边形截面中的至少一种。

[0023] 优选地，非金属根部阻尼器包括连接于彼此的多个球体。

[0024] 优选地，非金属根部阻尼器包括多个节段。

[0025] 优选地，非金属根部阻尼器为中空。

[0026] 一种用于阻尼涡轮中的振动的系统，包括：第一旋转叶片，第一旋转叶片具有第一陶瓷翼型件和连接于第一陶瓷翼型件的第一陶瓷根部；与第一旋转叶片相邻的第二旋转叶片，其中，第二旋转叶片包括第二陶瓷翼型件和连接于第二陶瓷翼型件的第二陶瓷根部；和非金属根部阻尼器，非金属根部阻尼器具有同时与第一陶瓷根部和第二陶瓷根部接触的第一位置。

- [0027] 优选地,非金属根部阻尼器包括氧化锆、多晶氧化铝、蓝宝石、碳化硅、或氮化硅中的至少一种。
- [0028] 优选地,非金属根部阻尼器具有三角形截面或六边形截面中的至少一种。
- [0029] 优选地,非金属根部阻尼器包括连接于彼此的多个球体。
- [0030] 优选地,非金属根部阻尼器包括多个节段。
- [0031] 在查阅说明书时,本领域技术人员将更好地认识到此类实施例和其他实施例的特征和方面。

附图说明

- [0032] 本发明的完整且能够实施的公开内容,包括对本领域技术人员而言的它的最佳实施方式,在本说明书的剩余部分中更加具体地阐明,该说明书包括参照附图,其中:
- [0033] 图1为在本发明的范围内的示范燃气涡轮的功能框图;
- [0034] 图2为可结合本发明的各种实施例的示范涡轮的一部分的简化侧部截面视图;
- [0035] 图3为根据本发明的一个实施例的用于阻尼涡轮中的振动的系统的简化轴向截面视图;
- [0036] 图4为图3示出的系统的透视图;
- [0037] 图5为根据本发明的备选实施例的用于阻尼涡轮中的振动的系统的简化轴向截面视图;
- [0038] 图6为图5示出的系统的透视图;
- [0039] 图7为在本发明的范围内的具有圆形截面的非金属的分段阻尼器的透视图;
- [0040] 图8为在本发明的范围内的具有三角形截面的非金属中空阻尼器的透视图;
- [0041] 图9为在本发明的范围内的具有六边形截面的非金属阻尼器的透视图;且
- [0042] 图10为在本发明的范围内的具有连接于彼此的多个球体的非金属的分段阻尼器的透视图。
- [0043] 构件列表
- [0044] 10 燃气涡轮
- [0045] 12 入口区段
- [0046] 14 工作流体
- [0047] 16 压缩机
- [0048] 18 压缩工作流体
- [0049] 20 燃烧器
- [0050] 22 燃料
- [0051] 24 燃烧气体
- [0052] 26 涡轮
- [0053] 28 轴
- [0054] 30 发电机
- [0055] 32 排出气体
- [0056] 34 排气仓室
- [0057] 36 排气管

[0058]	38	转子
[0059]	40	外壳
[0060]	42	热气体通路
[0061]	44	转子叶轮
[0062]	46	转子隔片
[0063]	48	螺栓
[0064]	50	旋转叶片
[0065]	52	静止导叶
[0066]	60	系统
[0067]	62	翼型件
[0068]	64	凹入压力侧
[0069]	66	凸出吸力侧
[0070]	68	前缘
[0071]	70	后缘
[0072]	72	平台
[0073]	74	根部
[0074]	76	转子叶轮槽道
[0075]	78	非金属平台阻尼器
[0076]	80	非金属根部阻尼器
[0077]	82	适配器
[0078]	84	适配器槽道
[0079]	86	转子叶轮中的杉树槽
[0080]	88	圆形截面
[0081]	90	节段
[0082]	92	三角形截面
[0083]	94	六边形截面
[0084]	96	中空部分
[0085]	98	球体
[0086]	100	丝。

具体实施方式

[0087] 现将更为详细地参照本发明的实施例,在附图中示出了其中的一个或多个实例。详细描述使用数字和字母标记来标示图中的特征。图中和描述中相似或类似的标记用于表示本发明的相似或类似的部分。如在本文中使用的,用语“第一”、“第二”和“第三”可互换地使用,以将一个构件与另一个区分开,且并非旨在表示个别构件的位置或重要性。此外,用语“上游”和“下游”表示构件在流体通路中的相对位置。例如,如果流体从构件A流至构件B,则构件A在构件B的上游。相反,如果构件B从构件A接收流体流,则构件B在构件A的下游。

[0088] 各个实例被提供作为本发明的说明而非本发明的限制。实际上,对本领域技术人员而言将是清楚的是,在不脱离本发明的范围或精神的情况下,可在本发明中作出各种修

改和变型。例如,示为或描述为一个实施例的一部分的特征可用在另一实施例上,以产生又一实施例。

[0089] 本发明的各种实施例包括用于阻尼涡轮中的振动的系统。该系统大致包括一个或多个旋转叶片,其具有结合到旋转叶片的各种特征中的陶瓷材料复合物(CMC)材料。例如,旋转叶片可包括翼型件、平台、和/或根部,其中的一个或多个可由CMC材料制造或涂有CMC材料。该系统还包括非金属阻尼器,该非金属阻尼器具有将阻尼器放置成与旋转叶片的一个或多个CMC特征接触的形状、尺寸和/或位置,以阻尼旋转叶片的振动。尽管可在结合到燃气涡轮中的涡轮的背景下描述本发明的各种示范实施例,但本领域中的普通技术人员将容易地认识到的是,本发明的具体实施例不限于结合到燃气涡轮中的涡轮,除非在本发明中明确地陈述。

[0090] 现参照附图,其中遍及附图,同样的数字表示的相同元件,图1提供在本发明的范围内的示范燃气涡轮10的功能框图。如图所示,燃气涡轮10大致包括入口区段12,该入口区段12可包括一系列过滤器、冷却盘管、水分分离器和/或其他装置,以净化且以其他方式调节进入燃气涡轮10的工作流体(例如,空气)14。工作流体14流至压缩机16,且压缩机16将动能逐步给予工作流体14,以在高度激励状态下产生压缩工作流体18。该压缩工作流体18流至一个或多个燃烧器20,在此,它在燃烧前与燃料22混合以产生具有高温和高压的燃烧气体24。该燃烧气体24流动穿过涡轮26以产生功。例如,轴28可将涡轮26连接于压缩机16,以便涡轮26的旋转驱动压缩机16,以产生压缩工作流体18。备选地或额外地,轴28可将涡轮26连接于发电机30用于产生电。来自涡轮26的排出气体32流动穿过涡轮排气仓室34,该涡轮排气仓室可将涡轮26连接于涡轮26下游的排气管36。例如,排气管36可包括余热回收蒸汽发生器(未示出),用于在释放到环境之前清洁排出气体32且从排出气体32中提取额外的热。

[0091] 图2提供可结合本发明的各种实施例的涡轮26的一部分的简化侧部截面视图。如图2所示,涡轮26大致包括转子38和外壳40,其至少部分地限定穿过涡轮26的热气体通路42。转子38可包括通过螺栓48连接在一起以一致地旋转的转子叶轮44和转子隔片46的交替区段。外壳40周向地包围转子38的至少一部分,以包含流动穿过热气体通路42的燃烧气体24或其他压缩工作流体。涡轮26还包括在外壳40内部且在转子38周围周向地布置以在转子38与外壳40之间径向地延伸的旋转叶片50和静止导叶52的交替级。如将关于图3至图6更加详细地说明的那样,旋转叶片50使用本领域中已知的各种方法连接于转子叶轮44。相反,静止导叶52可外围地布置在与转子隔片46相对的外壳40的内侧周围。如图2所示,燃烧气体24沿穿过涡轮26的热气体通路42从左流到右。在燃烧气体24行进经过旋转叶片50的第一级时,燃烧气体24膨胀,从而导致旋转叶片50、转子叶轮44、转子隔片46、螺栓48和转子38旋转。然后,燃烧气体24流动越过下一级静止导叶52,其将燃烧气体24加速且重新引导到下一级旋转叶片50,且该过程在之后的级中重复。在图2示出的示范实施例中,涡轮26具有三级旋转叶片50之间的两级静止导叶52;然而,本领域技术人员将容易地认识到的是,本发明不限制旋转叶片50和静止导叶52的级数,除非在本发明中明确地陈述。

[0092] 图3提供根据本发明的一个实施例的用于阻尼涡轮26中的振动的系统60的简化轴向截面视图,而图4提供没有转子叶轮44的图3中示出的系统60的透视图。如之前关于图2所描述的那样,系统60大致包括周向地布置在转子叶轮44周围的一个或多个旋转叶片50。如

图3和图4更加清楚地示出的那样,各个旋转叶片50包括翼型件62,翼型件62具有凹入压力侧64、凸出吸力侧66、以及前缘68和后缘70,如在本领域中已知的那样。翼型件62连接于平台72,平台72至少部分地限定热气体通路42的径向内侧部分。平台72又连接于根部74,该根部74可滑入转子叶轮44中的槽道76中。在图3和图4示出的特定实施例中,根部74和槽道76具有互补的燕尾形状,以将旋转叶片50保持于适当的位置。

[0093] 旋转叶片50的一个或多个区段可由各种陶瓷基复合物(CMC)材料形成或涂有各种陶瓷基复合物(CMC)材料,诸如,碳化硅和/或二氧化硅基陶瓷材料。例如,在图3和图4示出的特定实施例中,翼型件62、平台72和根部74都由如本领域中已知的各种CMC材料形成或涂有各种CMC材料。在其他特定实施例中,平台72和/或根部74可由高合金钢或其他适合地耐热的材料形成或涂有该材料。尽管在旋转叶片50中使用CMC材料可增强旋转叶片50的热特性和磨损特性,但CMC材料也可导致对金属阻尼器的加速的磨耗和磨损。因此,图3和图4示出的系统60包括一个或多个非金属阻尼器,该非金属阻尼器构造成与旋转叶片50的由CMC材料形成或涂有CMC材料的一个或多个区段接触,以阻尼与旋转叶片50相关联的振动。非金属阻尼器可由一种或多种陶瓷材料制造。例如,非金属阻尼器可包括氧化锆、多晶氧化铝、蓝宝石、碳化硅、氮化硅,或它们的组合。就碳化硅来说,陶瓷材料可包括密度为三且耐用性大致等于多晶氧化铝的烧结 α 碳化硅、反应结合碳化硅和/或熔体浸渗(melt infiltrated)碳化硅(melt infiltrated)。作为另一实例,密度为三且耐用性与多晶氧化铝或氧化锆类似的热等静压(hot iso-pressed)氮化硅可提供用于阻尼器的适合的非金属材料。因此,相比于常规的金属阻尼器,非金属阻尼器将具有期望的热特性以及优异的磨损特性。非金属构件上的涂层可包括保护性的周围屏蔽涂层,该屏蔽涂层可由碱性的铝硅酸盐构成,诸如BSAS(钡锶铝硅酸盐)或稀土硅酸盐(诸如二硅化钪)。其他陶瓷涂层可应用于非金属构件以增强磨损特性或阻尼有效性。

[0094] 在图3和图4示出的特定实施例中,系统60包括一个或多个非金属平台阻尼器78和一个或多个非金属根部阻尼器80,其分别沿平台72和根部74轴向地延伸。图3和图4示出的非金属平台和根部阻尼器78、80具有大致圆形的截面,以在旋转叶片50旋转时增强相应的平台72与根部74之间的接触。具体而言,在旋转叶片50转动时,非金属平台阻尼器78楔入相邻的陶瓷平台72之间,以阻尼相邻的旋转叶片50之间的振动。类似地,非金属根部阻尼器80在燕尾槽76中楔入陶瓷根部74与转子叶轮44之间,以阻尼从旋转叶片50到转子叶轮44的振动。

[0095] 图5提供根据本发明的备选实施例的用于阻尼涡轮26中的振动的系统60的简化轴向截面视图,且图6提供没有转子叶轮44的图5示出的系统60的透视图。如之前关于图2至图4所描述的那样,系统60也大致包括周向地布置在转子叶轮44周围的一个或多个旋转叶片50。在该特定实施例中,翼型件62、平台72和根部74也由CMC材料形成或涂有CMC材料,且系统60还包括适配器82,其构造成将旋转叶片50连接于转子叶轮44。例如,根部74可滑入适配器82中的燕尾槽84中,且该适配器82可又滑入转子叶轮44中的杉树槽86中。在该特定实施例中,适配器82中的槽道84具有燕尾形状,而转子叶轮44中的槽道86具有杉树形状。然而,本领域技术人员将容易地从本文的教导理解到的是,槽道76、84可具有与根部74和适配器82相符的各种形状,且本发明不限于任何特定形状的槽道76、84,除非在本发明中明确地陈述。

[0096] 在图5和图6示出的特定实施例中,系统60可也包括一个或多个非金属阻尼器,该非金属阻尼器构造成与由CMC材料形成或涂有CMC材料的旋转叶片50的一个或多个区段接触,以阻尼与旋转叶片50相关联的振动。例如,如之前关于图3和图4示出的实施例所描述的那样,系统60可包括沿平台72轴向地延伸的一个或多个非金属平台阻尼器78。备选地或额外地,系统60可包括一个或多个非金属根部阻尼器80,其在与相邻的根部74和/或与根部74和适配器82接触的情况下轴向地和/或径向地延伸。以此方式,非金属根部阻尼器80可阻尼相邻的旋转叶片50之间和/或根部74与适配器82之间的振动。

[0097] 如将关于图7至图10示出的示范实施例描述的那样,非金属阻尼器78、80可包括多个区段,该区段可为实心的或中空的,并且/或者可具有各种截面,以增强与由CMC材料制成或涂有CMC材料的旋转叶片50的一个或多个区段的接触。例如,图7提供具有圆形截面88和多个节段90的非金属平台阻尼器78或非金属根部阻尼器80的透视图。该圆形截面88使阻尼器78、80能够同时接触具有不同形状和/或定向的多个CMC材料构件。此外,各个节段90个别地且独立地抵靠相邻的CMC材料构件,以进一步隔离或阻尼涡轮26中的振动。

[0098] 图8提供具有三角形截面92的非金属平台阻尼器78或非金属根部阻尼器80的透视图,且图9提供具有六边形截面94的非金属平台阻尼器78或非金属根部阻尼器80的透视图。取决于相邻的CMC材料构件的具体尺寸、形状和/或定向,三角形截面92或六边形截面94可加强阻尼器78、80与相邻的CMC材料构件之间的表面区域接触。此外,图8示出的三角形阻尼器78、80可包括一个或多个中空部分96,该中空部分96可用于调整阻尼器78、80的质量,以微调阻尼器78、80与相邻的CMC材料构件之间的阻尼的位置和/或量。

[0099] 图10提供具有多个节段90的另一非金属平台阻尼器78或非金属根部阻尼器80的透视图。在该特定实施例中,阻尼器78、80包括连接于彼此的多个球体98。例如,钨丝100或其他适合的材料可连接于或延伸穿过各个球体98,以将球体98连接成分段阻尼器78、80。本领域技术人员将容易地从本文的教导理解到的是,阻尼器78、80和节段90的其他几何形状在本发明的范围内,且阻尼器78、80和/或节段90的特定几何形状不是本发明的限制,除非在本发明中明确地陈述。

[0100] 本书面说明使用示例以公开本发明,包括最佳实施方式,并且还使任何本领域技术人员能够实践本发明,包括制造并且使用任何装置或系统,并执行任何合并的方法。本发明可包括由本领域技术人员想到的其它示例。

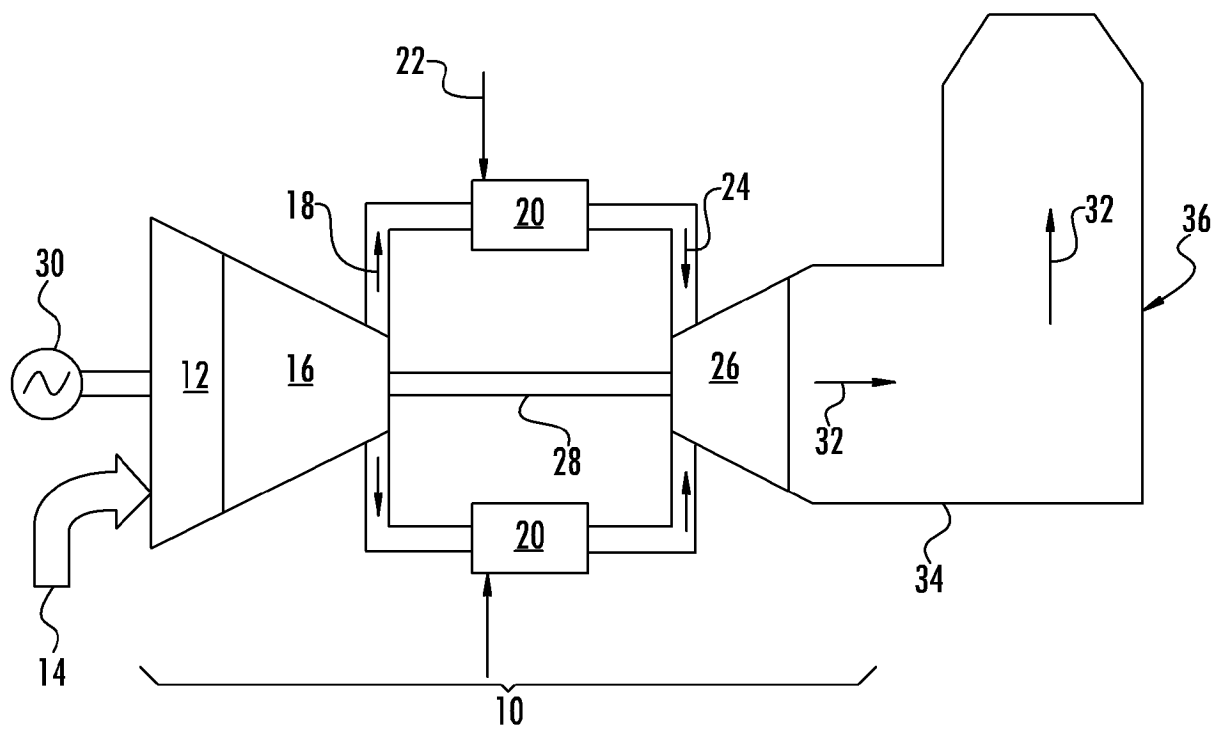


图 1

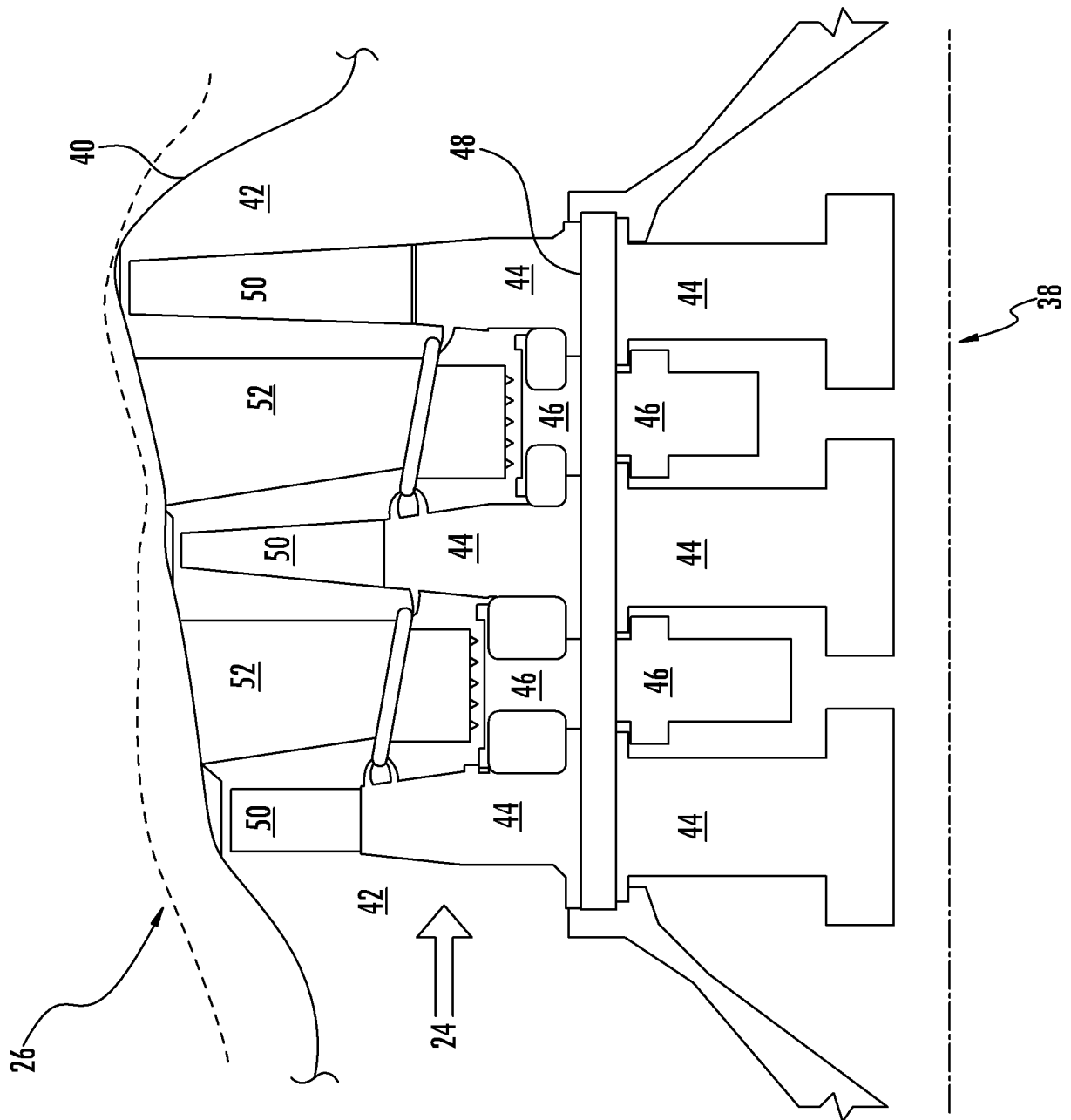


图 2

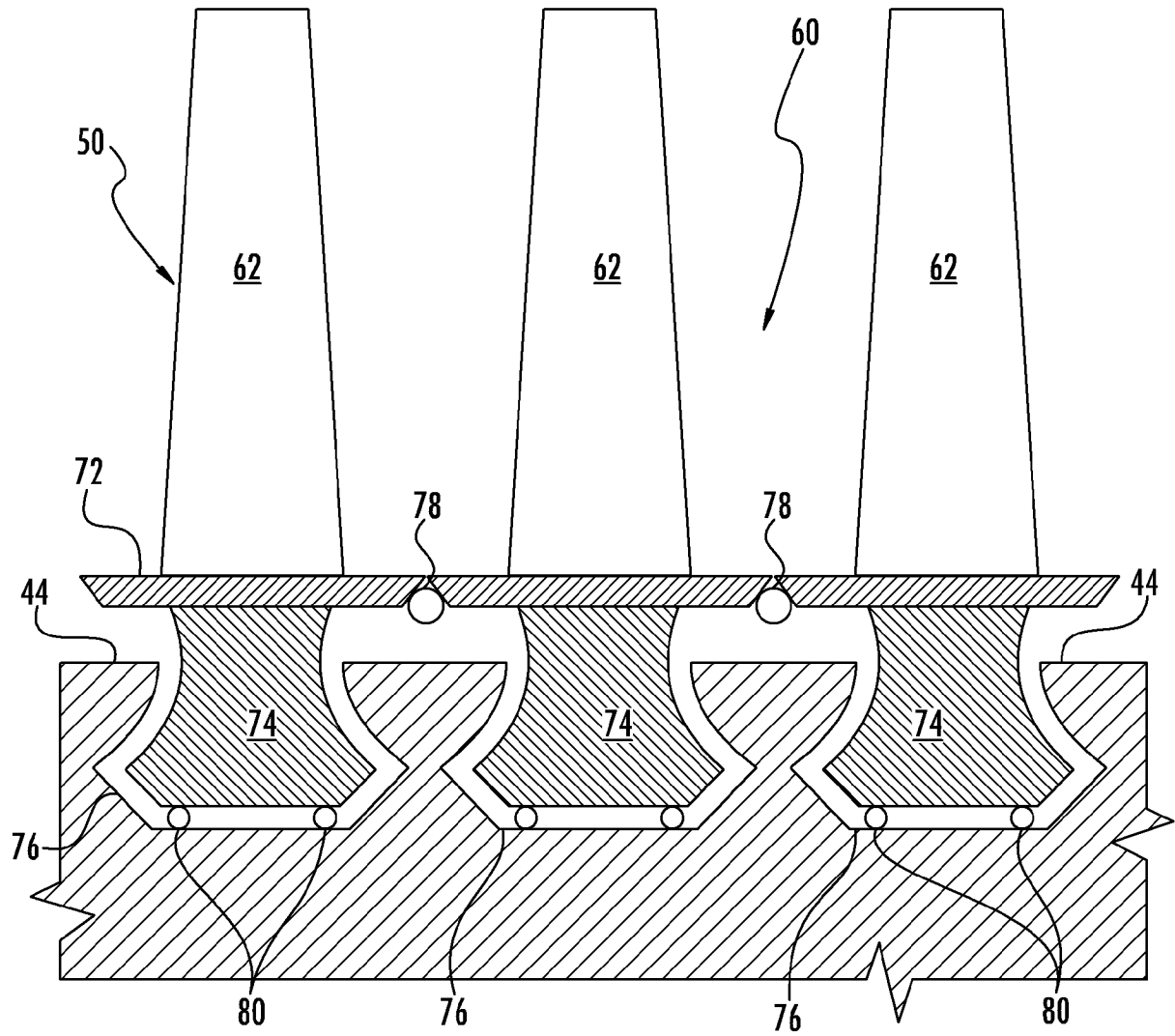


图 3

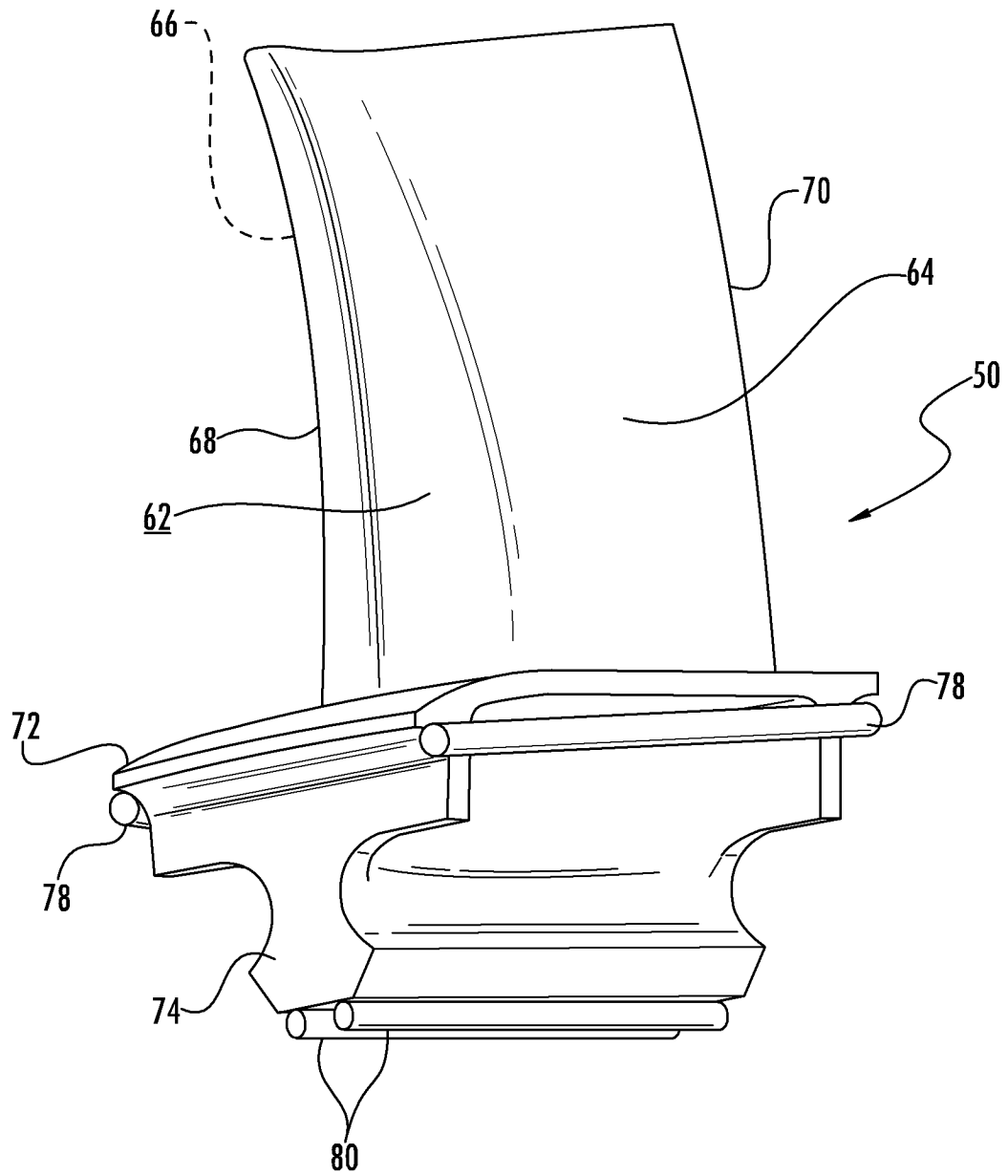


图 4

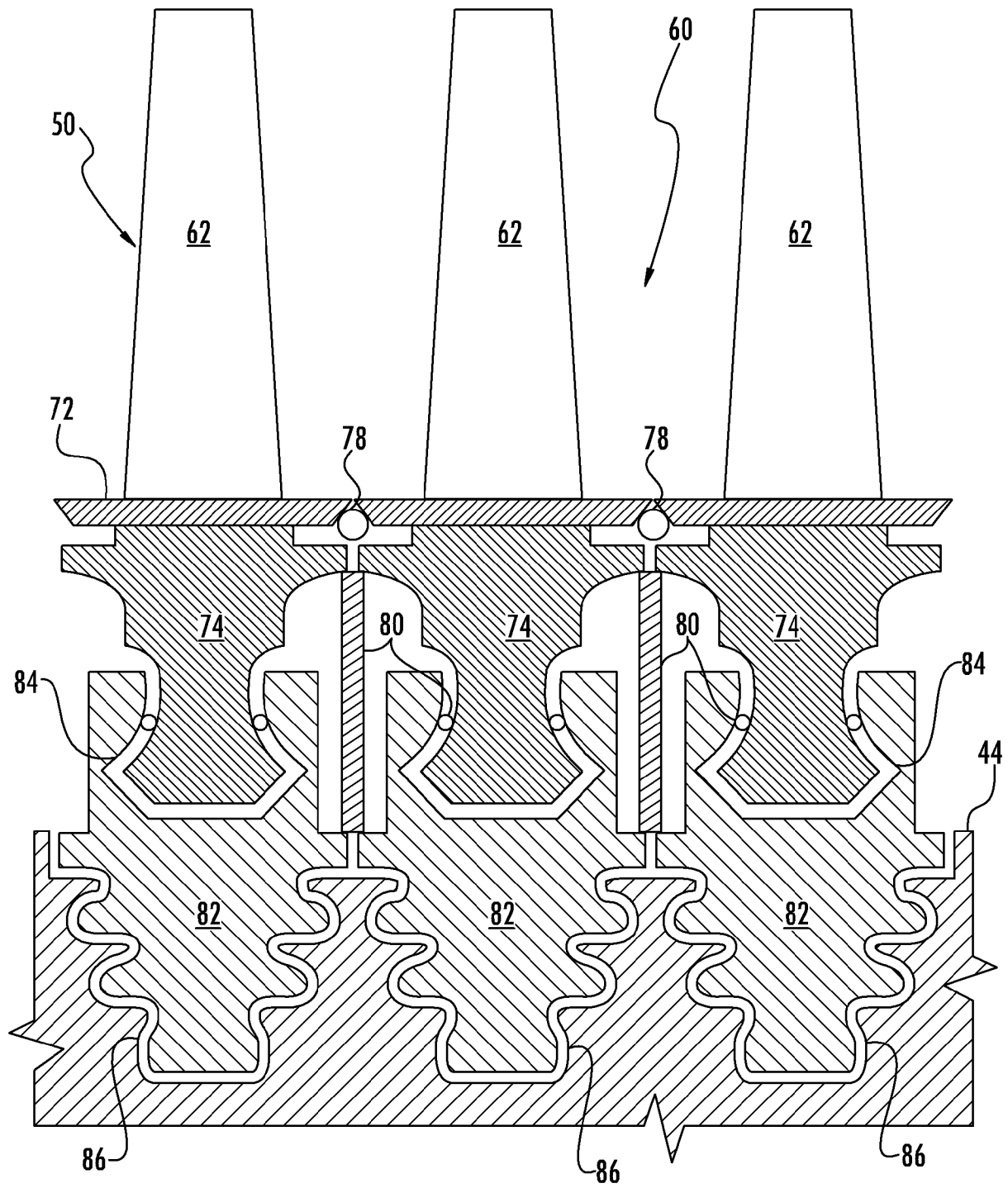


图 5

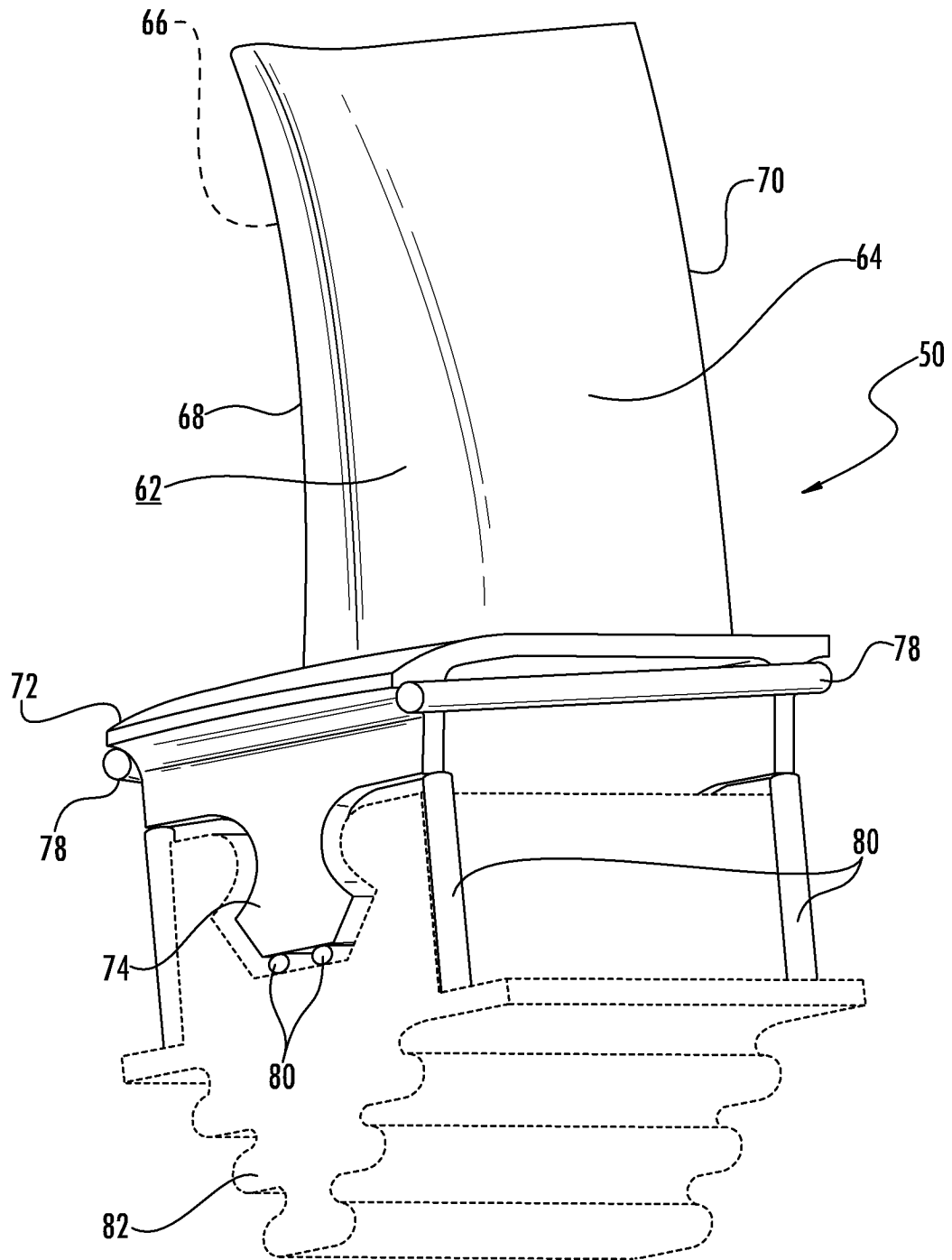


图 6

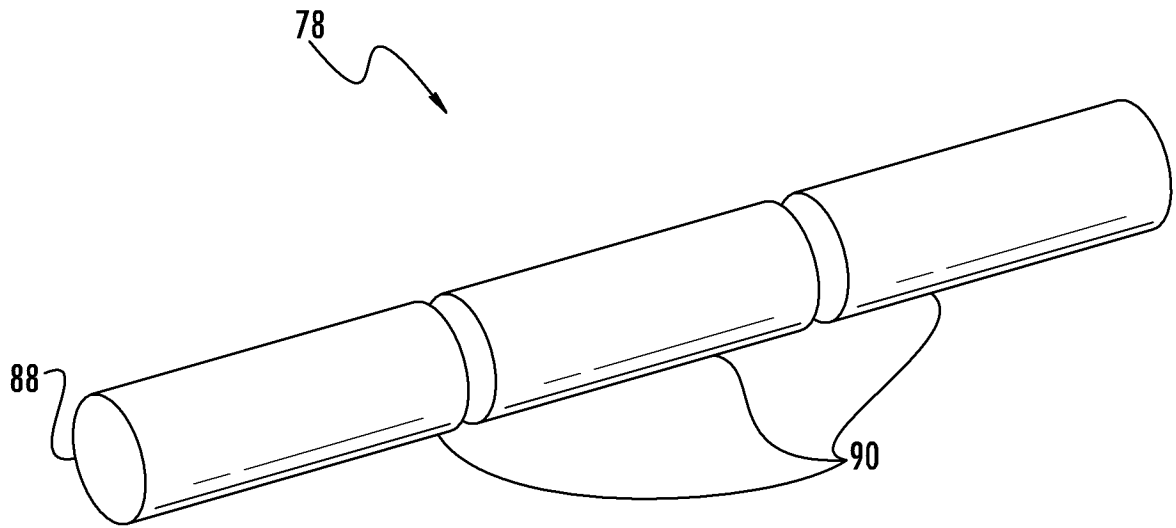


图 7

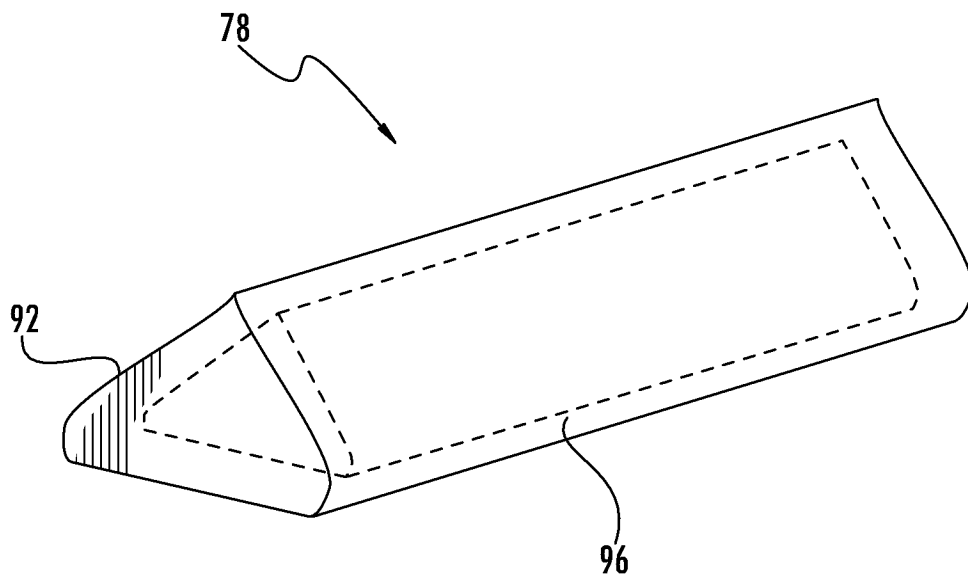


图 8

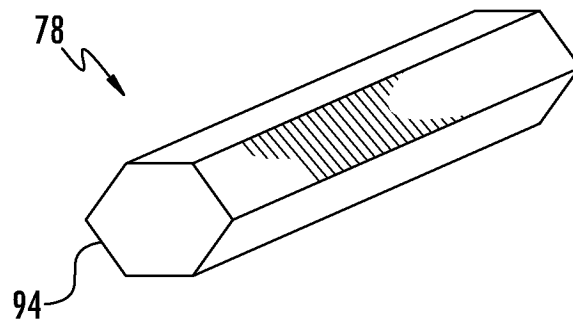


图 9

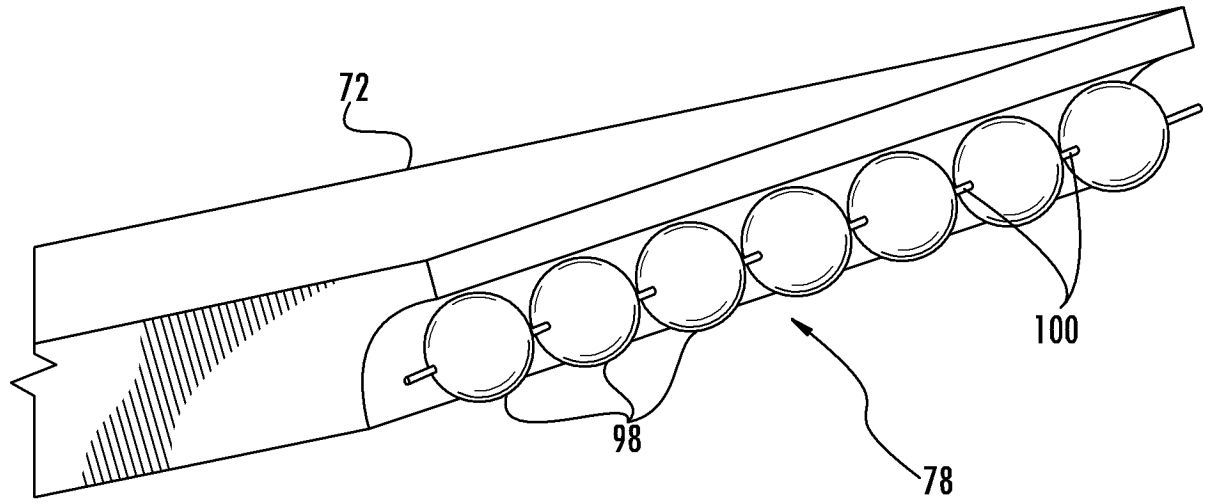


图 10