



## (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106460666 A

(43)申请公布日 2017.02.22

(21)申请号 201580024956.8

(74)专利代理机构 北京泛华伟业知识产权代理

(22)申请日 2015.04.14

有限公司 11280

(30)优先权数据

代理人 徐舒

14/278466 2014.05.15 US

(51)Int.Cl.

F02C 7/00(2006.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

F01D 25/00(2006.01)

2016.11.11

G01N 23/02(2006.01)

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2015/025634 2015.04.14

(87)PCT国际申请的公布数据

W02015/175125 EN 2015.11.19

(71)申请人 索拉透平公司

地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 B·R·亚伯拉罕 J·C·布瑞尔

D·P·威乐

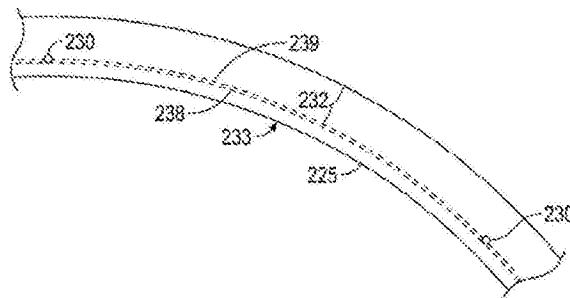
权利要求书2页 说明书8页 附图6页

(54)发明名称

用于部分穿透焊接接头的射线照相标记物

(57)摘要

一种用于燃气涡轮发动机的焊件构件包括前向焊接构件和后向焊接构件。前向焊接构件具有环形形状，其在一端形成有前向焊接面。前向焊接面具有形成在其中的至少一个前向射线照相标记孔。后向焊接构件具有环形形状，其在一端形成有后向焊接面。后向焊接面具有在其中形成的后向射线照相标记孔。前向焊接面与后向焊接面对齐，并且前向射线照相标记孔从后向射线照相标记孔成角度地偏移。



1. 一种燃气涡轮发动机压缩机转子组件(210),其包括:

焊件构件(211),其具有

多个压缩盘(221),每个压缩机盘(221)包括

具有环形形状的前向焊接构件(226),其在所述环形形状的一端形成有前向焊接面(234),所述前向焊接面(234)具有形成在其中的至少一个前向射线照相标记孔(230);以及

具有环形形状的后向焊接构件(225),其在所述环形形状的一端形成有后向焊接面(233),所述后向焊接面(233)具有形成在其中的至少一个后向射线照相标记孔(230);

其中所述前向焊接构件(226)的所述前向焊接面(234)与所述后向焊接构件(225)的所述后向焊接面(233)对齐,并且所述至少一个前向射线照相标记孔(230)从所述至少一个后向射线照相标记孔(230)成角度地偏移;且

其中所述多个压缩机盘(221)中的每一者包括多个转子叶片槽(236);

多个压缩机转子叶片(229),每个位于所述转子叶片槽(236)中的一者中。

2. 根据权利要求1所述的燃气涡轮发动机压缩机转子组件(210),其还包括:在每个压缩机盘(221)的每个前向焊接构件(226)的周边周围等距地间隔开的多个前向射线照相标记孔(230);以及

在每个压缩机盘(221)的每个后向焊接构件(225)的周边周围等距地间隔开的多个后向射线照相标记孔(230);且

其中,每个所述前向射线照相标记孔(230)从每个所述后向射线照相标记孔(230)成角度地偏移。

3. 根据权利要求1所述的燃气涡轮发动机压缩机转子组件(210),其中,所述至少一个前向射线照相标记孔(230)的径向内边缘设置在距所述前向焊接构件(226)的外边缘的距离(232)处,所述距离等于所述焊件构件(211)的焊接穿透深度(238);且

其中,所述至少一个后向射线照相标记孔(230)的径向内边缘设置在距所述后向焊接构件(225)的外边缘的距离(232)处,所述距离(232)等于所述焊件构件(211)的焊接穿透深度(238)。

4. 根据权利要求1所述的燃气涡轮发动机压缩机转子组件,其中,所述至少一个前向射线照相标记孔(230)从所述至少一个后向射线照相标记孔(230)偏移45°的角度。

5. 一种包括根据权利要求1所述的压缩机转子组件的燃气涡轮发动机。

6. 一种确定用于燃气涡轮发动机(100)的焊件构件(211)中的焊接穿透深度(238)的方法,所述方法包括:

在前向焊接构件(226)的前向焊接面(234)中形成至少一个前向射线照相标记孔(230);

在后向焊接构件(225)的后向焊接面(233)中形成至少一个后向射线照相标记孔(230);

将所述前向焊接构件(226)的所述前向焊接面(234)与所述后向焊接构件(225)的所述后向焊接面(233)对齐;

使用穿透焊接工艺将所述前向焊接构件(226)的所述前向焊接面(234)焊接到所述后向焊接构件(225)的所述后向焊接面(233);

对所述焊件构件(211)的一部分进行射线照相成像,以确定所述至少一个前向射线照

相标记孔(230)和所述至少一个后向射线照相标记孔(230)是否已被焊接材料遮蔽。

7. 根据权利要求6所述的方法,其中,所述穿透焊接工艺是电子束焊接工艺。

8. 根据权利要求6所述的方法,其中,将所述前向焊接面(234)与所述后向焊接面233对齐包括使所述至少一个前向射线照相标记孔(230)从所述后向射线照相标记孔(230)偏移45°的角度。

9. 根据权利要求6所述的方法,其中,所述在所述前向焊接构件(226)的所述前向焊接面(234)中形成至少一个前向射线照相标记孔(230)包括在所述前向焊接面(234)中形成多个前向射线照相标记孔(230),所述多个前向射线照相标记孔(230)在所述前向焊接面(234)的周边周围等距离地间隔开;且

其中,所述在所述后向焊接构件(225)的所述后向焊接面(233)中形成至少一个后向射线照相标记孔(230)包括在所述后向焊接面(233)中形成多个后向射线照相标记孔(230),所述多个后向射线照相标记孔(230)在所述后向焊接面(233)的周边周围等距离地间隔开。

10. 根据权利要求6所述的方法,其中,所述在所述前向焊接构件(226)的所述前向焊接面(234)中形成至少一个前向射线照相标记孔(230)包括在距所述前向焊接构件(226)的外边缘的距离(232)处形成所述至少一个前向射线照相(230)的径向内边缘,所述距离等于所述焊件构件(211)的焊接穿透深度(238);且

其中,所述在所述后向焊接构件(226)的所述后向焊接面(233)中形成至少一个后向射线照相标记孔(230)包括在距所述后向焊接构件(225)的外边缘的距离(232)处形成所述至少一个后向射线照相标记孔(230)的径向内边缘,所述距离等于所述焊件构件(211)的焊接穿透深度(238)。

## 用于部分穿透焊接接头的射线照相标记物

### 技术领域

[0001] 本发明总体上涉及燃气涡轮发动机，并且更具体地涉及在部分穿透焊接接头处具有射线照相标记物的燃气涡轮发动机压缩机转子组件焊件构件。

### 背景技术

[0002] 燃气涡轮发动机包括压缩机和通过将盘焊接在一起而形成的涡轮机段。特别地，多组金属盘被焊接在一起以形成焊件构件，而涡轮机叶片可以附接到该焊件构件。为了保持质量控制，可以使用射线照相成像方法来检查相邻金属盘之间的焊缝以确定焊接穿透深度。

[0003] Rohrle等人的美国专利第3,974,381号公开了一种用于检测电子束焊缝的穿透深度的焊接方法和装置，其中所发生的X射线被引导通过吸收装置的几个板到达射线接收器。这些板包括多个直径相等的孔，这些孔以它们的位置彼此布置，使得相同水平面上的相应孔的中心线精确对齐。射线接收器、吸收装置和工件彼此平行地对齐并且在高度上彼此协同。

[0004] 本发明旨在克服本发明人发现的一个或多个问题。

### 发明内容

[0005] 公开了一种用于燃气涡轮发动机的焊件构件。焊件构件包括前向焊接构件和后向焊接构件。前向焊接构件具有在一端形成有前向焊接面的环形形状。前向焊接面具有形成在其中的至少一个前向射线照相标记孔。后向焊接构件具有在一端形成有后向焊接面的环形形状。后向焊接面具有形成在其中的至少一个后向射线照相标记孔。前向焊接面与后向焊接面对齐，并且至少一个前向射线照相标记孔从至少一个后向射线照相标记孔成角度地偏移。

[0006] 还公开了一种燃气涡轮发动机压缩机转子组件。燃气涡轮发动机压缩机转子组件包括焊件构件和多个压缩机转子叶片。焊件构件具有多个压缩机盘。多个压缩机盘中的每一者包括前向焊接构件和后向焊接构件。前向焊接构件具有环形形状，其在一端形成有前向焊接面。前向焊接面具有形成在其中的至少一个前向射线照相标记孔。后向焊接构件具有环形形状，其在一端形成有后向焊接面。后向焊接面具有形成在其中的至少一个后向射线照相标记孔。前向焊接面与后向焊接面对齐，并且至少一个前向射线照相标记孔从至少一个后向射线照相标记孔成角度地偏移。多个压缩机盘中的每一者还包括多个转子叶片槽。多个压缩机转子叶片各自位于其中一个转子叶片槽中。

[0007] 还公开了一种确定燃气涡轮发动机的焊件构件中的焊接穿透深度的方法。该方法包括在前向焊接构件的前向焊接面中形成至少一个前向射线照相标记孔。该方法还包括在后向焊接构件的后向焊接面中形成至少一个后向射线照相标记孔。该方法还包括将前向焊接构件的前向焊接面与后向焊接构件的后向焊接面对齐。该方法还包括使用穿透焊接工艺将前向焊接构件的前向焊接面焊接到后向焊接构件的后向焊接面。该方法另外包括对焊件

构件的一部分进行射线照相成像,以确定至少一个前向射线照相标记孔和至少一个后向射线照相标记孔是否已被焊接材料遮蔽。

## 附图说明

- [0008] 图1是示例性燃气涡轮发动机的示意图。
- [0009] 图2是图1的燃气涡轮发动机的压缩机转子组件的透视图。
- [0010] 图3是图2的压缩机转子组件的焊件的一部分的横截面图。
- [0011] 图4是沿线VI-VI截取的图3的焊件的一部分的前向焊接构件与相邻的后向焊接构件之间的未焊接接头的横截面图。
- [0012] 图5是沿线V-V截取的图4的焊件的一部分的前向焊接构件与相邻的后向焊接构件之间的未焊接接头的另一横截面图。
- [0013] 图6是图3的焊件的一部分的焊接构件中的其中一个的焊接面的端视图。
- [0014] 图7是图6的焊接构件的焊接面的一部分的放大图。
- [0015] 图8是沿着线V-V截取的邻近图4的焊件的一部分的焊接构件的前向焊接构件与相邻的后向焊接构件之间的焊接接头的另一横截面图。
- [0016] 图9是用于确定用于燃气涡轮发动机的焊件构件中的焊接穿透深度的方法的流程图。

## 具体实施方式

[0017] 本文公开的系统和方法包括具有在焊缝的射线照相检查期间限定焊接线的标记孔的燃气涡轮发动机压缩机转子组件。在实施例中,压缩机转子组件包括具有前向焊接构件和后向焊接构件的焊件,其中在其焊接面中形成有标记孔。在焊接期间,前向焊接构件的标记孔可以从后向焊接构件的标记孔偏移。在焊接之后,一个或多个标记孔可以部分地或完全地填充有焊接材料。

[0018] 图1是示例性燃气涡轮发动机的示意图。为了清楚起见并便于说明,一些表面和结构已经被省略或放大(在此附图和其他附图中)。此外,本发明可以参考前向和后向。通常,除非另有说明,否则所有对“前向”和“后向”的引用与主空气(在布雷顿循环中使用的空气,用于燃气涡轮机操作的热力学基础)的流动方向相关联。例如,前向相对于主空气流位于“上游”,并且后向相对于主空气流位于“下游”。

[0019] 此外,本发明通常可以参考燃气涡轮发动机的旋转的中心轴线95,其可以通常由其轴120(由多个轴承组件150支撑)的纵向轴线限定。中心轴线95可以与各种其它发动机同心部件公用或共享。除非另有说明,否则所有对径向、轴向和周边方向以及测量值的引用都是指中心轴线95,并且诸如“内”和“外”的术语通常表示相距的更小或更大的径向距离,其中径向96可以是从中心轴线95垂直和向外辐射的任何方向。

[0020] 燃气涡轮发动机100包括入口110、轴120、气体发生器或“压缩机”200、燃烧器300、涡轮机400、排气装置500和动力输出联接器600。燃气涡轮发动机100可以具有单轴或双轴构造。

[0021] 压缩机200包括压缩机转子组件210、压缩机固定叶片(“定子”)250和入口导向叶片255。压缩机转子组件210机械地联接到轴120。如图所示,压缩机转子组件210是轴流式转

子组件。压缩机转子组件210可以包括通过过盈配合和定位销彼此联接的一个或多个焊件211，其可以联接到也可以通过干涉配合或弯曲联接的前毂213(图2所示)。焊件211各自包括一个或多个压缩机盘组件220。每个压缩机盘组件220包括压缩机盘221(在图2和图3中示出)，该压缩机盘211周向地填充有压缩机转子叶片229。

[0022] 定子250轴向地跟随每个压缩机盘组件220。与跟随压缩机盘组件220的相邻定子250配对的每个压缩机盘组件220被认为是压缩机级。压缩机200包括多个压缩机级。入口导向叶片255轴向地在第一压缩机级之前。

[0023] 燃烧器300包括一个或多个喷射器310，并且包括一个或多个燃烧室390。

[0024] 涡轮机400包括涡轮机转子组件410和涡轮机喷嘴450。涡轮机转子组件410机械地联接到轴120。如图所示，涡轮机转子组件410是轴流式转子组件。涡轮机转子组件410包括一个或多个涡轮机盘组件420。每个涡轮机盘组件420包括周向地填充有涡轮机叶片的涡轮机盘。涡轮机喷嘴450轴向地在每个涡轮机盘组件420之前。与在涡轮机盘组件420之前的相邻涡轮机喷嘴450配对的每个涡轮机盘组件420被认为是涡轮机级。涡轮机400包括多个涡轮机级。

[0025] 排气装置500包括排气扩散器510和排气收集器520。

[0026] 图2是图1的压缩机转子组件210的透视图。压缩机转子组件210可以包括压缩机转子叶片229。压缩机转子叶片229可以是轴向安装的压缩机转子叶片(“轴向叶片”)、周向安装的压缩机转子叶片(“周向叶片”)或轴向叶片和周向叶片的组合。压缩机转子叶片尺寸可以由压缩机盘221的尺寸确定。

[0027] 图3是图2的压缩机转子组件210的焊件211的一部分的横截面图。焊件211包括多个压缩机盘221。每个压缩机盘221可以包括前向焊接构件226和后向焊接构件225。前向焊接构件226可以具有环形形状并且可以从每个压缩机盘221向前延伸。后向焊接构件225可以具有环形形状并且可以从压缩机盘221向后延伸。第一级的压缩机盘221的后向焊接构件225可以焊接到后续级的压缩机盘221的前向焊接构件226。每个后续压缩机盘221可以以类似的方式焊接到之前的压缩机盘221。

[0028] 焊件211的每个压缩机盘221可以包括形成一个或多个转子叶片槽236的周边凸缘235。在一些实施例中，每个转子叶片槽236可以是轴向槽或周向槽。一个或多个压缩机转子叶片229可以插入到每个转子叶片槽236中。如果压缩机盘221具有一个或多个轴向槽，则可以将一个轴向叶片插入至每个轴向槽中。如果压缩机盘221具有周向槽，则多个周向叶片可以插入至周向槽中。在图3所示的实施例中，五个压缩机盘221具有为轴向槽的转子叶片槽236。在其它实施例中，转子叶片槽236可以是周向槽或者轴向槽和周向槽的组合。

[0029] 图4是图3的焊件211的一部分的前向焊接构件226与相邻的后向焊接构件225之间的未焊接接头231的横截面图。横截面是沿图3的线VI-VI截取的。为了更清楚起见，部件之间的相对尺寸和/或距离可以被放大。

[0030] 如图所示，前向焊接构件226具有在一端形成有前向焊接面234的大致环形形状。类似地，后向焊接构件225具有在一端形成有后向焊接面233的大致环形形状。前向焊接构件226的前向焊接面234在前向焊接构件226和后向焊接构件225之间的接头231处接触后向焊接构件225的后向焊接面233。

[0031] 前向焊接构件226被示为具有形成在前向焊接面234中的多个射线照相标记孔

230。然而，其他实施例可以仅具有在前向焊接面234中形成的单个射线照相标记孔230。形成在前向焊接面234中的射线照相标记孔230可以被称为前向射线照相标记孔。在一些实施例中，这些标记孔230的直径可以是千分之40英寸。然而，标记孔的实施例可以具有更大或更小的直径。另外，在一些实施例中，标记孔的深度可以在千分之50至70英寸的范围内。然而，其他实施例可以具有更大或更小的孔深度。

[0032] 后向焊接构件225还示出为具有形成在后向焊接面233中的射线照相标记孔230。然而，其他实施例可以具有形成在后向焊接面233中的多个射线照相标记孔230。形成在后向焊接面233中的射线照相标记孔230可以被称为后向射线照相标记孔。此外，在一些实施例中，这些标记孔230的直径可以是千分之40英寸。然而，标记孔的实施例可以具有更大或更小的直径。另外，在一些实施例中，标记孔230的深度可以在千分之50至70英寸的范围内。然而，其他实施例可以具有更大或更小的孔深度。

[0033] 图4示出了前向焊接构件226的前向焊接面234定位成抵靠后向焊接构件225的后向焊接面233，其中前向焊接构件226的射线照相标记孔230相对于中心轴线95从后向焊接构件225的射线照相标记孔230成角度地偏移(图1所示)。在一些实施例中，该成角度偏移可以是45°的角度。在其他实施例中，该成角度偏移可以是更大或更小的角度。

[0034] 图5是图4的焊件211的一部分的前向焊接构件226与相邻的后向焊接构件225之间的未焊接接头231的另一横截面视图。该横截面是沿着线V-V截取的图4的前向焊接构件226的其中一个射线照相标记孔230的横截面。为了更清楚起见，部件之间的相对尺寸和/或距离可以被放大。

[0035] 在图5中，由于所示的截面切口的缘故，只有一个射线照相标记孔230是可见的，并且为了清楚起见，省略了其它射线照相标记孔230。射线照相标记孔230位于后向焊接构件225的外边缘或周边(如图5所示的上侧)下方的径向距离232处。径向距离232可以在后向焊接构件225的外边缘或周边与射线照相标记孔230的径向内边缘(如图5中的参考线238所示的射线照相标记孔230的下侧)之间进行测量。在一些实施例中，径向距离232可以对应于在焊接构件的焊接期间所使用的焊接穿透深度，如下所述。

[0036] 图5还示出了可以邻近前向焊接构件226的前向焊接面234设置倒角缺口237。类似地，还可以邻近后向焊接构件225的后向焊接面233设置倒角缺口237。

[0037] 图6是图3的焊件的一部分的后向焊接构件225的后向焊接面233的端视图。图7是图6的后向焊接构件225的后向焊接面233的一部分的放大图。前向焊接构件226的前向焊接面234在结构上类似于图6和图7中所示的后向焊接面233，并且因此省略了前向焊接构件226的前向焊接面234的多余图示。

[0038] 在图6的实施例中，八个射线照相标记孔230设置在后向焊接构件225的后向焊接面233中。然而，在其他实施例中，可以提供多于或少于八个射线照相标记孔230。例如，可以在后向焊接面233中设置四个射线照相标记孔。另外，也可以在前向焊接面234中设置相似数量的射线照相标记孔230。

[0039] 如图所示，射线照相标记孔230在后向焊接面233的周边周围定位在等间隔的角度位置处。每个射线照相标记孔230的几何中心位于如参考线239所示的公共径向位置。射线照相标记孔230被示出为具有圆形横截面。然而，射线照相标记孔230并不限于这种构造，并且可以具有其他形状，例如椭圆形、正方形或对于本领域普通技术人员而言可以是显而易

见的任何其它形状。

[0040] 进一步如图7所示,每个射线照相标记孔230位于后向焊接构件225的径向外边缘或周边下方的径向距离232处。径向距离232可以在后向焊接构件225的外边缘或周边与射线照相标记孔230的径向内边缘(如图5中的参考线238所示的射线照相标记孔230的下侧)之间进行测量。如上所述,径向距离232可以对应于在焊接构件的焊接期间所使用的焊接穿透深度,如下所述。

[0041] 图8是在接头已经进行焊接之后,在图4所示的焊件211的一部分的前向焊接构件226与相邻的后向焊接构件225之间的接头231的横截面图。图8示出了与上述图5所示相同的特征,并且对相同的部件使用相同的附图标记。与图5一样,该横截面是沿图3的线V-V截取的。

[0042] 在前向焊接构件226和后向焊接构件225之间已经形成焊缝700。在一些实施例中,焊缝700包括已流入一个或多个射线照相标记孔230中的焊接材料。在一些实施例中,所有射线照相标记孔230可以由来自焊缝700的焊接材料完全填充。然而,在其他实施例中,仅有少数或者甚至仅有一个射线照相标记孔230可以被完全填充,并且剩余的射线照相标记孔230可以仅仅是部分地填充。进一步,在一些实施例中,一个或多个射线照相标记孔230可以通过来自焊缝700的焊接材料保持完全未填充。

#### [0043] 工业实用性

[0044] 燃气涡轮发动机可适用于任何数量的工业应用,例如油和天然气工业的各个方面(包括油和天然气的传输、收集、存储、提取和提升)、发电工业、热电联产、航空航天、和其他运输业。

[0045] 参考图1,气体(通常为空气10)作为“工作流体”进入入口110,并且由压缩机200进行压缩。在压缩机200中,工作流体通过一系列压缩机盘组件220在环形流动路径115中进行压缩。特别地,空气10按照编号的“级”进行压缩,这些级与每个压缩机盘组件220相关联。例如,“第四级空气”可以在下游或“后向”方向上与第四个压缩机盘组件220相关联,该方向是从入口110朝向排气装置500。同样地,每个涡轮机盘组件420可以与编号的级相关联。

[0046] 一旦压缩空气10离开压缩机200,其进入燃烧器300,在那里它被扩散并且添加燃料。空气10和燃料通过喷射器310喷射到燃烧室390中并燃烧。通过一系列涡轮机盘组件420中的每一级经由涡轮机400从燃烧反应中提取能量。废气90然后可以在排气扩散器510中扩散、收集和重定向。废气90经由排气收集器520离开系统并且可以被进一步处理(例如,以减少有害排放物和/或从废气90回收热量)。

[0047] 燃气涡轮发动机和其它旋转机器包括以高速旋转的多个旋转元件,并且经受较高的热应力和机械应力。因此,通常在组装期间和定期性维护计划时对部件(例如,焊件的压缩机盘221的前向焊接构件226和后向焊接构件225)之间的焊缝进行检查,以检测可能在操作过程中导致部件发生故障的缺陷。

[0048] 如图3、图4、图5、图6、图7和图8所示,压缩机转子组件210的焊件构件211由多个压缩机盘221形成。每个压缩机盘221由具有前向焊接面234的前向焊接构件226和具有后向焊接面233的后向焊接构件225形成。在每个压缩机盘221的组装期间,前向焊接面234焊接到后向焊接面233。典型的焊接工艺包括但不限于电子束焊接工艺、激光束焊接工艺或对于本领域普通技术人员而言可以是显而易见的任何其它窄束、高能量焊接工艺。

[0049] 本申请的实施例包括在前向焊接面234和后向焊接面233两者中的一个或多个射线照相标记孔230，这些射线照相标记孔230可以用于在焊缝检查期间确定焊接穿透深度。

[0050] 图9是用于检查焊缝700并确定用于燃气涡轮发动机100的焊件构件211中的焊接穿透深度的方法900的流程图。在步骤905中，在前向焊接构件226的前向焊接面234中形成至少一个射线照相标记孔230。射线照相标记孔230可以放置在距前向焊接构件226的径向外边缘或周边的径向距离232处。径向距离232可以在前向焊接构件226的外边缘或周边与射线照相标记孔230的径向内边缘(如图5中的参考线238所示的射线照相标记孔230的下侧)之间进行测量。

[0051] 射线照相标记孔230可以通过对于本领域普通技术人员而言可以是显而易见的钻孔、铣削或其它机械加工工艺来形成。在一些实施例中，射线照相标记孔230可以形成为具有千分之40英寸的直径和在千分之50-70英寸范围内的孔深度的圆形孔。在其他实施例中，射线照相标记孔230可以具有不同的形状，或者可以具有如上所述的更大或更小的尺寸。然而，如果射线照相标记孔的尺寸或形状变得太大，则射线照相标记孔230可以在前向焊接构件226中产生能够在操作期间导致潜在故障的故障点。

[0052] 类似地，在步骤910中，在后向焊接构件225的后向焊接面233中形成至少一个射线照相标记孔230。射线照相标记孔230可以放置在距后向焊接构件225的径向外边缘或周边的径向距离232处。径向距离232可以在后向焊接构件225的外边缘或周边与射线照相标记孔230的径向内边缘(如图5中的参考线238所示的射线照相标记孔230的下侧)之间进行测量。

[0053] 射线照相标记孔230可以通过对于本领域普通技术人员而言可以是显而易见的钻孔、铣削或其它机械加工工艺来形成。在一些实施例中，射线照相标记孔230可以形成为具有千分之40英寸的直径和在千分之50-70英寸范围内的孔深度的圆形孔。在其他实施例中，射线照相标记孔230可以具有不同的形状，或者可以具有如上所述的更大或更小的尺寸。然而，如果射线照相标记孔230的尺寸或形状变得太大，则射线照相标记孔230可能在后向焊接构件225中产生能够在操作期间导致潜在故障的故障点。

[0054] 在步骤915中，前向焊接构件226的前向焊接面234与后向焊接构件225的后向焊接面233对齐。更具体地，前向焊接面234与后向焊接面233对齐，使得形成在前向焊接面234中的一个或多个射线照相标记孔230从形成在后向焊接面233中的一个或多个射线照相标记孔230成角度地偏移。在一些实施例中，该成角度偏移可以是45°。在一些实施例中，该成角度偏移可以大于或小于45°。在一些实施例中，前向焊接面234可以由人与后向焊接面233手动地对齐。在其它实施例中，前向焊接面234可以通过使用机器视觉的自动化组装机器与后向焊接面233自动对齐。

[0055] 在步骤915中，在前向焊接面234与后向焊接面233对齐并且相应的射线照相标记孔230彼此成角度地偏移之后，在步骤920中，前向焊接构件226沿着接头231焊接到后向焊接构件225(图4和图5所示)。焊接工艺可以是穿透焊接工艺，并且可以包括电子束焊接、激光束焊接或对于本领域普通技术人员而言可以是显而易见的任何其它窄束、高能量焊接工艺。在焊接过程中，可以将能量强度设置为如下的水平：产生如本领域已知的通过高能量束产生的特定量的穿透。例如，能量强度可以设置为产生焊接构件的厚度的75%的最小穿透。在一些实施例中，最大穿透可以高达95%，并且在一些情况下，最大焊缝穿透可以远低于

95%。

[0056] 在一些实施例中,设置为在焊接期间产生的最小穿透可以对应于相应焊接构件(即,前向焊接构件226和后向焊接构件225)的外边缘或周边与射线照相标记孔230(由图5中的参考线238示出)的径向内边缘之间的径向距离232。例如,如果要将能量强度设置为产生焊接构件的厚度的75%的最小穿透,则焊接构件的外边缘或周边与射线照相标记孔230的径向内边缘之间的径向距离232可以对应于焊接构件的厚度的75%。

[0057] 在步骤925中,在前向焊接构件226已经被焊接到后向焊接构件225之后,可以对焊缝700周围的焊件211的一部分进行射线照相成像。具体地,通过使不可见的电磁辐射从焊缝700的一侧上的发生器通过焊缝700传递到焊缝700的相对侧上的检测器,可以对焊缝700进行射线照相成像。例如,辐射发生器可以放置在焊缝700的径向外侧,并且辐射检测器可以放置在焊缝700的径向内侧。在一些实施例中,射线照相成像可以产生用于评估焊缝700的截面或部分的静止图像。在其它实施例中,当焊件211相对于辐射发生器和辐射检测器进行旋转时,射线照相成像可以产生可以用于评估整个焊缝700的视频。

[0058] 穿过焊缝的不可见电磁辐射的类型没有进行特别限制,并且可以包括X射线辐射、伽马射线辐射和对于本领域普通技术人员而言可以是显而易见的任何其它形式的辐射。

[0059] 通过使用在射线照相成像期间产生的射线照相图像,可以目视检查穿透深度和焊缝对齐。具体地,如果还没有来自焊缝700的焊接材料流入到射线照相标记孔中,则焊缝700的前向焊接面234侧和焊缝700的后向焊接面233侧上的射线照相标记孔230在射线照相图像上是大体可见的。当射线照相标记孔230填充有来自焊缝700的焊接材料时,射线照相标记孔230在射线照相图像上的可见性将减弱,并且如果射线照相标记孔230被完全地填充,则可能完全丧失这种可见性。

[0060] 如果焊缝700的前向焊接面234侧上和后向焊接面233上的全部或大部分射线照相标记孔230已经被从焊缝700流入射线照相标记孔230中的焊接材料完全或基本上遮蔽,则焊接穿透深度和焊缝对齐可以确定是在可接受的公差内并且可以视为是良好的焊缝。相反,如果所有或大多数射线照相标记孔230在射线照相图像上是完全可见的,则可以确定焊接穿透深度和/或焊缝对齐是不可接受的,并且焊缝700是不合格的。可见的射线照相标记孔的具体数量或确定焊缝是可接受的还是不合格的可见度程度可以根据所焊接的零部件的所需设计参数而变化,这对于本领域普通技术人员而言可以是显而易见的。例如,在一些实施例中,一些焊缝设计参数可能要求射线照相标记孔的100%填充率被视为是可接受的焊缝。在其他实施例中,95%填充率、90%填充率、85%填充率等可以是可接受的。

[0061] 通过提供视觉上检查焊缝和量化焊缝穿透水平的过程,可以产生改善的焊缝质量和减少的焊缝开裂。随着焊缝质量的提高和焊缝开裂率的降低,可以延长产品的寿命,从而节省维修/更换成本并减少设备停机时间。

[0062] 前面的详细描述在本质上仅仅是示例性的,并且不旨在限制本发明或本发明的应用和用途。所描述的实施例不限于结合特定类型的燃气涡轮发动机使用。因此,虽然为了方便解释,本发明描绘和描述了特定的前向焊接构件、特定的后向焊接构件和相关联的过程,但是应当认识到的是,根据本发明的其它前向焊接构件、后向焊接构件和过程能够在各种其他压缩机转子组件、构造和机器类型中实现。此外,不希望受前述背景技术或详细描述中提出的任何理论的约束。还应当理解,这些图示可以包括放大的尺寸以更好地示出所示的

参考项目，并且不被认为是限制性的，除非明确地如此陈述。

[0063] 另外，上述实施例涉及燃气涡轮发动机的压缩机转子组件的焊件的压缩机转子盘的焊接。然而，本申请的实施例不限于这些部件，并且还可以涉及该燃气涡轮发动机的其它焊接构件。

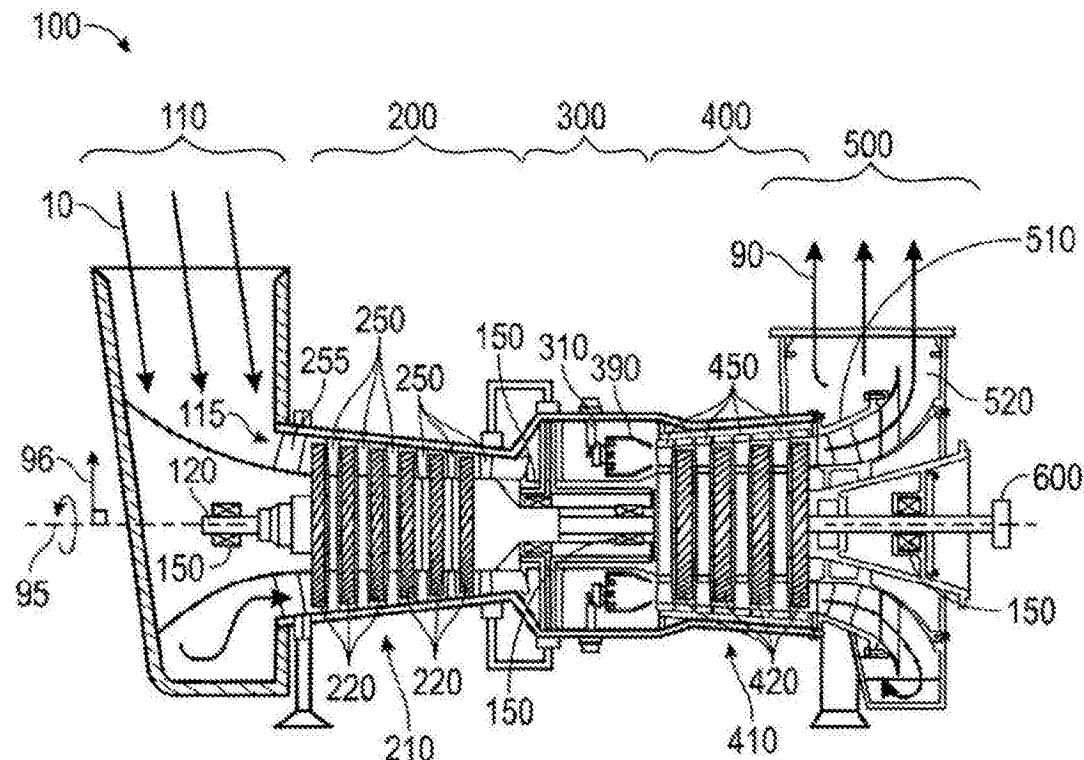


图1

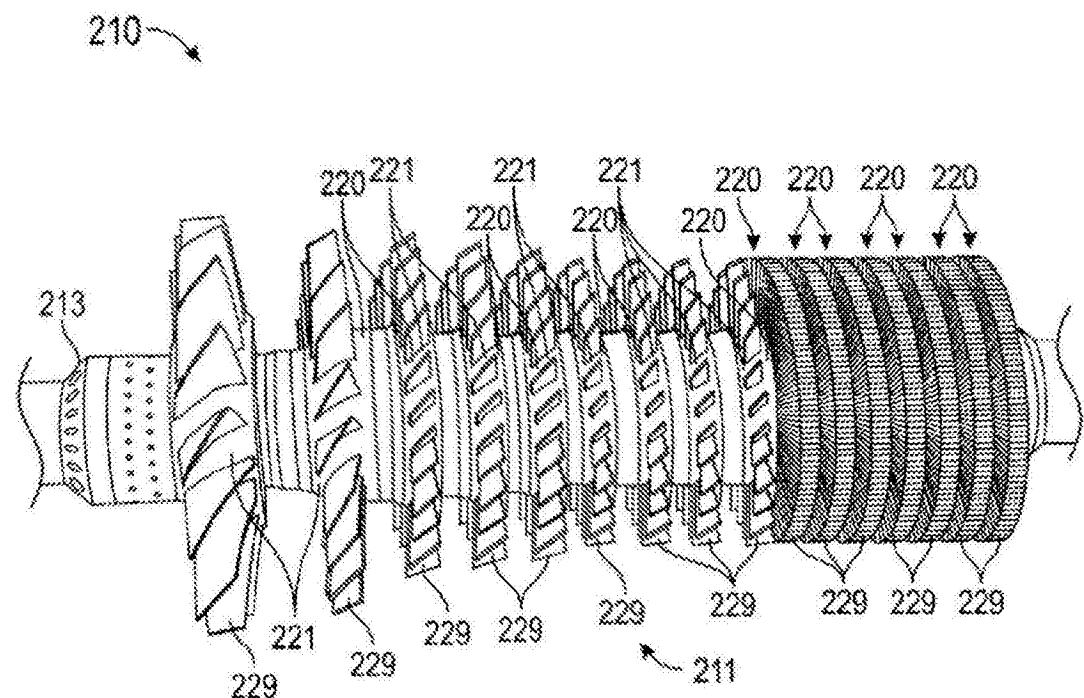


图2

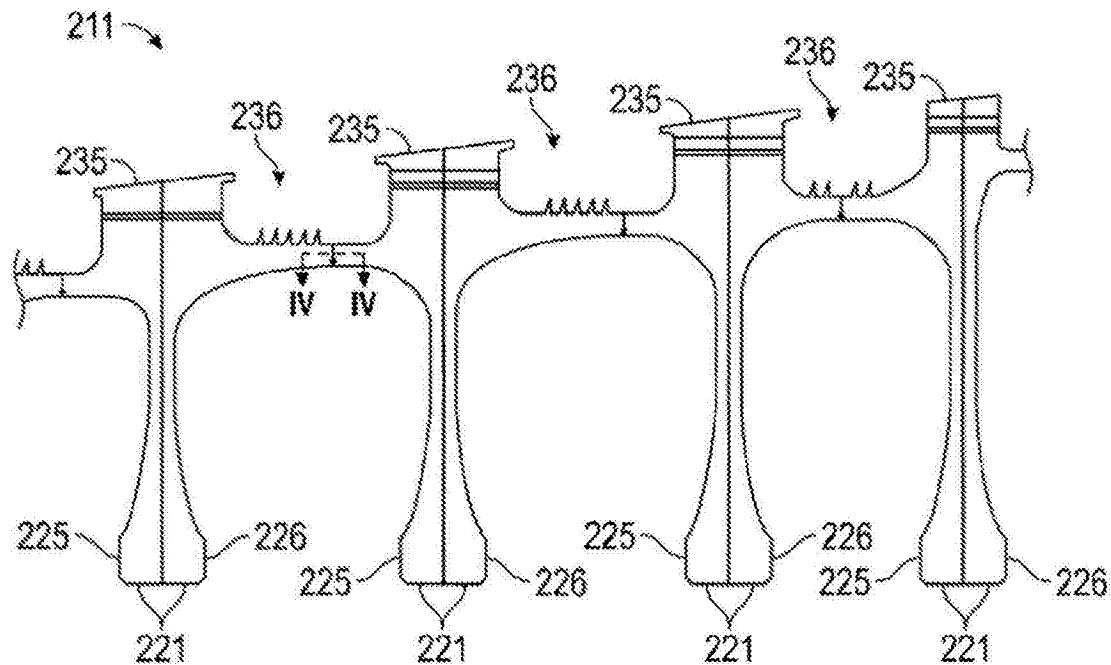


图3

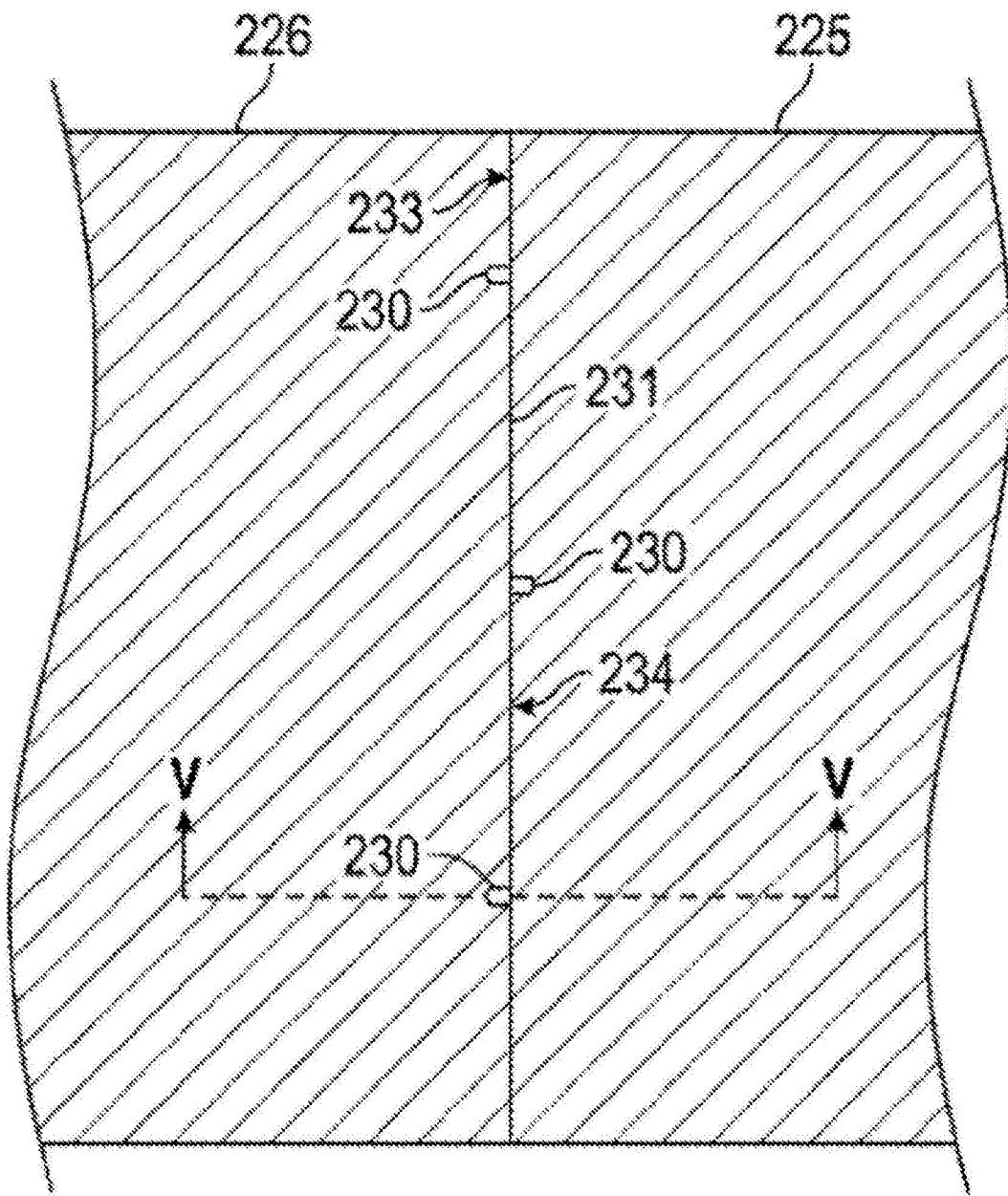


图4

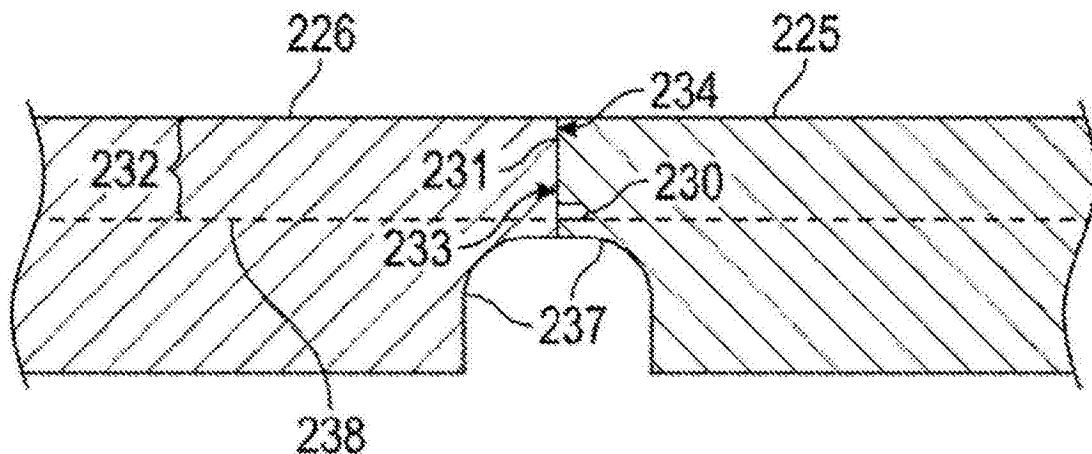


图5

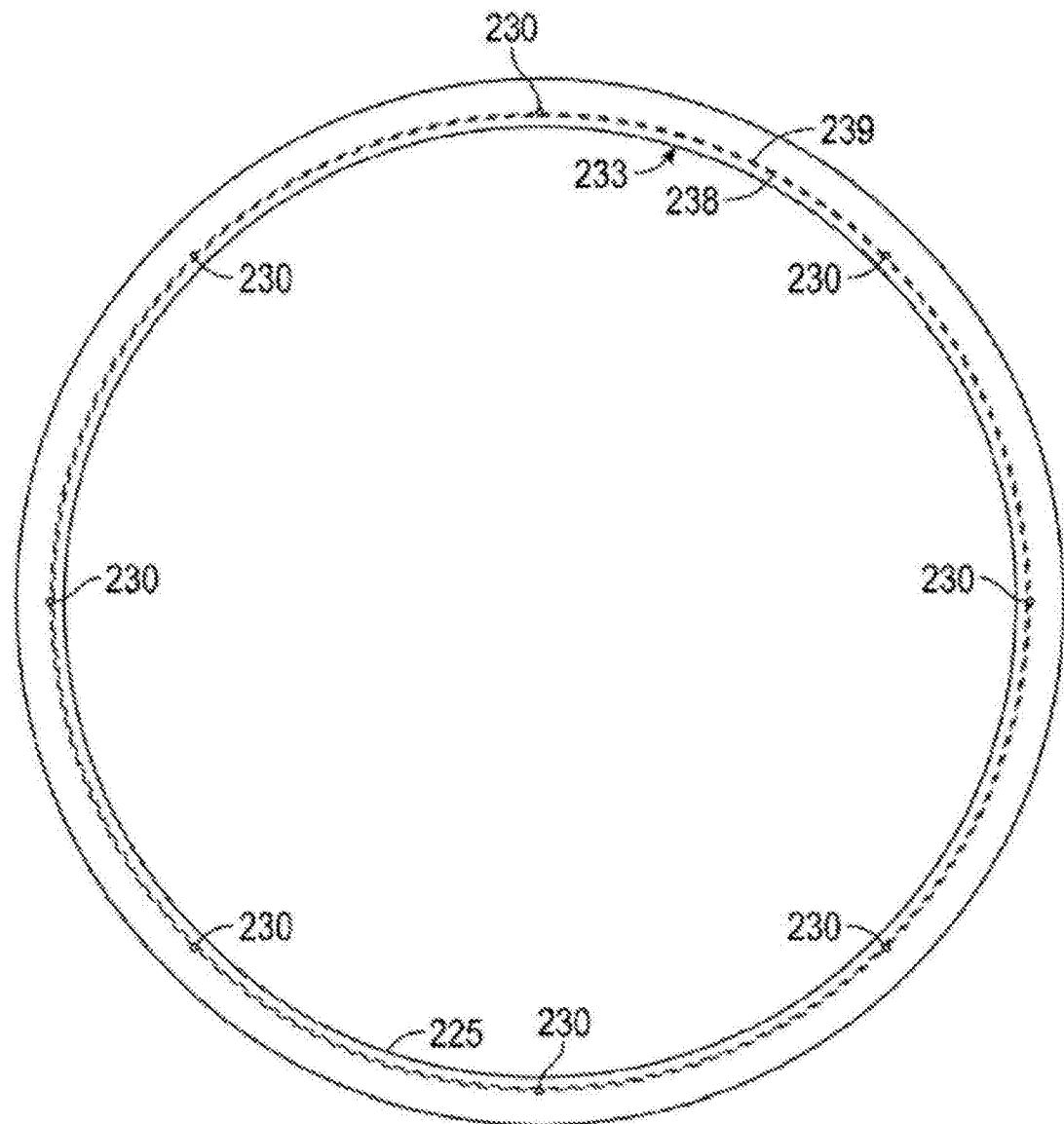


图6

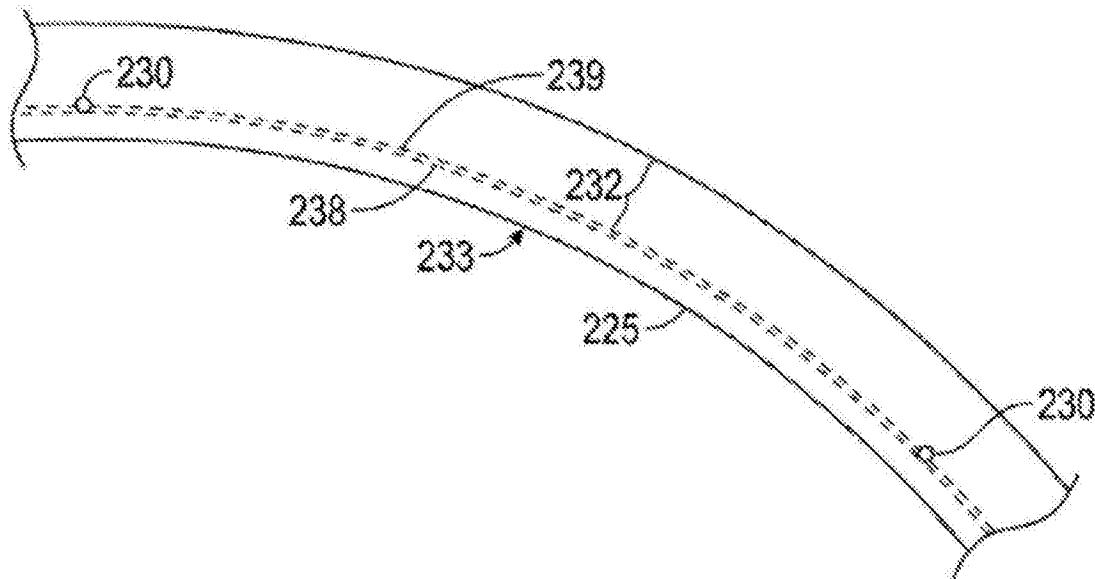


图7

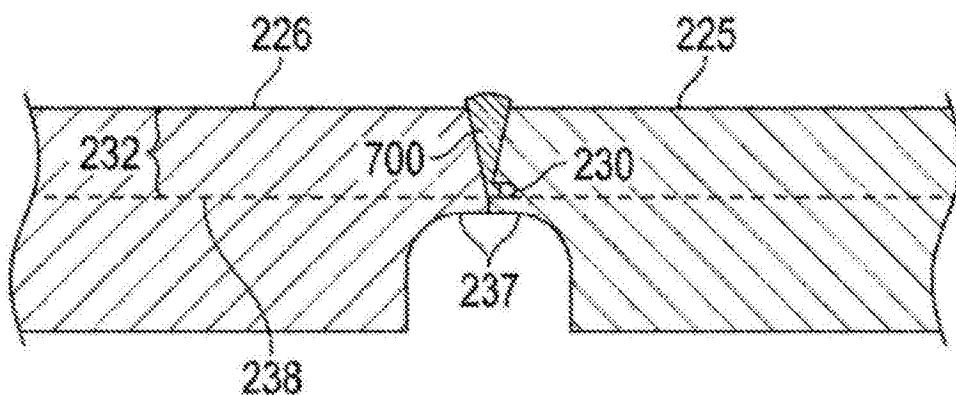


图8

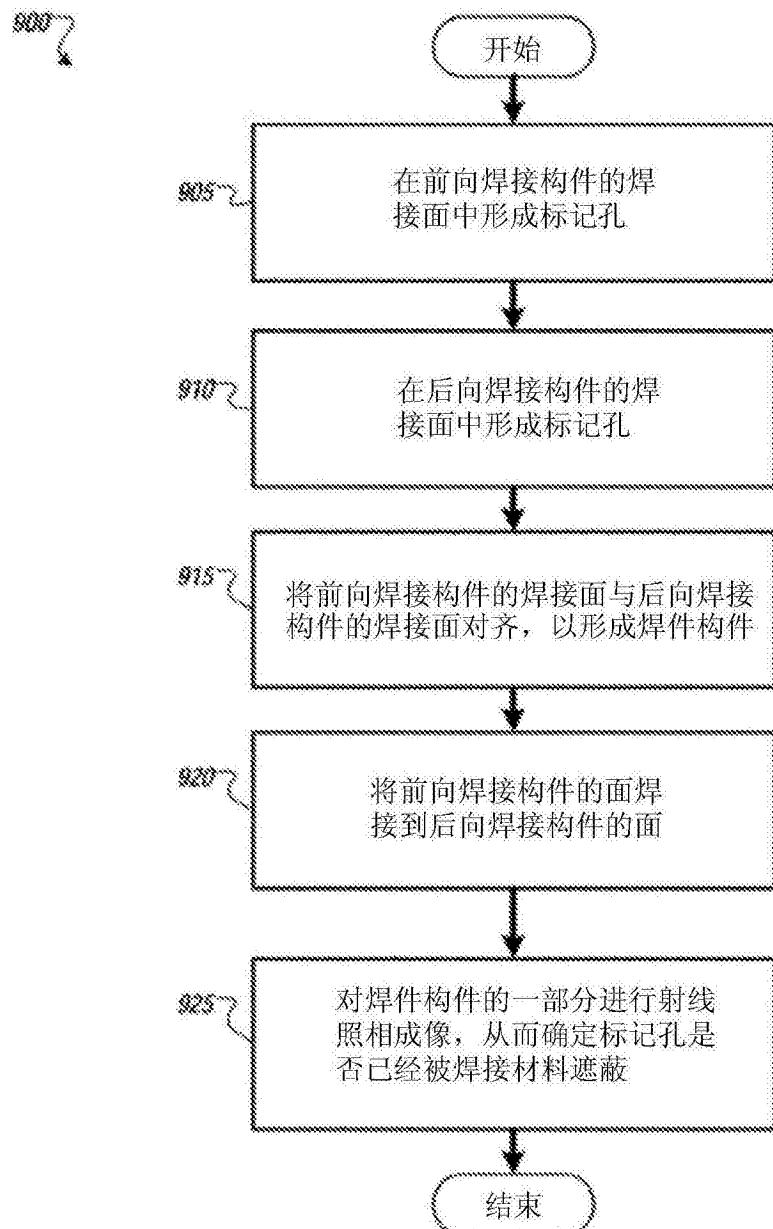


图9