[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl[7]
F01D 11/02

[12]发明专利说明书

[21] ZL 专利号 95194708.7

[45]授权公告日 2001 年 7 月 25 日

[11]授权公告号 CN 1068924C

[22]申请日 1995.8.17 [24]颁证日 2001.6.2
[21]申请号 95194708.7
[30]优先权
[32]1994.8.24 [33]US [31]08/295,193
[86]国际申请 PCT/US95/10474 1995.8.17
[87]国际公布 WO96/06267 英 1996.2.29
[85]进入国家阶段日期 1997.2.21
[73]专利权人 联合技术公司
地址 美国康涅狄格州
[72]发明人 加里·P·皮特斯
罗伯特·加若德·约翰纳斯·斯特
[56]参考文献

GB2159895	1985.12.11	F16J15/447
US1505647	1924. 8.19	
US4351532	1982. 9.28	F16J15/447
US5152666	1992.10. 6	F01D25/14

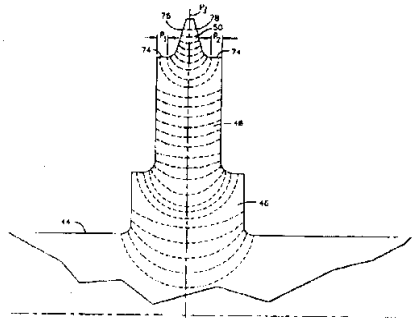
审查员 23 51
[74]专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
代理人 邵 伟

权利要求书 4 页 说明书 9 页 附图页数 6 页

[54]发明名称 用于回转式机械的旋转密封元件

[57]摘要

一种旋转密封元件(38)至少由两个沿圆周连续的环(48,50)形成。所述环在向外的方向上的厚度 T2、T3 逐渐减小。各种结构细节均有助于提 高周期循环疲劳寿命水平。在一个特定的实施例中,该密封元件带有平面(7 4),所述平面(74)在环间交界处从所述侧面向内延伸。



ISSN1008-4274

00·12·21

权 利 要 求 书

1、一种用于回转式机械（10）的旋转密封元件（38\38’\38”），它围绕机械的旋转轴线（Ar）沿周向延伸，该密封元件具有一个周向延伸的支撑元件，支撑元件具有由一直线形成的直纹曲面，其连续位置位于同一平面上使得该表面形成一个参考面（P_ℓ\$P_{\ell 1}$\$P_{\ell 2}$），参考面围绕旋转轴线（Ar）沿周向延伸并且可展开成一个平面；该密封元件还具有多个周向延伸的环（50\50’\50”\48\48’\48”），每个环绕沿周向延伸的参考面设置，至少一个环与支撑元件间隔开，这些环包括一个内环（48\48’\48”）和一个外环（50\50’\50”），并且内环比外环更靠近支撑元件，该旋转密封元件具有由一个通过密封元件并经过旋转轴线（Ar）的平面相交而形成的剖面形状，其中：

所述内环（48\48’\48”）绕着旋转轴线 Ar 周向地从支撑元件沿第一方向向外延伸，所述第一方向沿着从密封元件向外的方向延伸并且与周向延伸的参考面和通过旋转轴线 Ar 的平面的相交线重合，该内环具有：

沿周向延伸的第一侧面（68\68’\68”）；

沿周向延伸并与第一侧面间隔的第二侧面（72\72’\72”）；

正对第一方向的第一表面（74\74’\74”），其具有在第一方向上测量的高度（H_2\$H_i$\$H_i$）和在第一侧面与第二侧面之间的厚度（$T_2$\$T_i$\$T_i$），该厚度是邻近第一表面垂直于周向参考面测量的；

所述外环绕着旋转轴线（Ar）周向地从内环的第一表面沿第一方向向外延伸，该外环具有：

沿周向延伸的第一侧面（76\76’\76”）；

沿周向延伸的第二侧面（78\78’\78”）；

正对第一方向的第二表面，它与第一表面间隔一个在第一方向上测量的高度（H_3\$H_O$\$H_O$），并具有在外环的第一侧面与第二侧面之间的厚度（$T_3$\$T_O$\$T_O$），该厚度是在邻近第一表面位置垂直于周向参考面测量的；

其特征在于，外环的第一侧面和第二侧面沿着向外的第一方向相互

收敛；以及

其特征还在于，外环的第一侧面和第二侧面均通过半径（$R_3\backslash R_O\backslash R_O$）的圆角而与内环的第一表面相连，半径（$R_3\backslash R_O\backslash R_O$）不大于外环的厚度（$T_3\backslash T_O\backslash T_O$）的三分之一；内环的第一表面从内环的第一侧面沿横向延伸距离（$P_1\backslash P_1'\backslash P_1''$）、从内环的第二侧面沿横向延伸距离（$P_2\backslash P_2'\backslash P_2''$）；外环的厚度（$T_3\backslash T_O\backslash T_O$）是在半径为（$R_3\backslash R_O\backslash R_O$）的圆角最外部分测量的，它大于横向距离（$P_1\backslash P_1'\backslash P_1''$）和横向距离（$P_2\backslash P_2'\backslash P_2''$）（$T_3 > P_1$，$P_2\backslash T_O > P_1'$，$P_2'\backslash T_O > P_1''$，$P_2''$）并且是圆角半径（$R_3\backslash R_O\backslash R_O$）的至少三倍；在第一表面远离外环延伸时，经横向距离（$P_1\backslash P_1'\backslash P_1''$）和横向距离（$P_2\backslash P_2'\backslash P_2''$）的第一表面并不沿与第一方向相反的方向延伸。

2、如权利要求 1 所述的旋转密封元件，其特征在于，横向距离（$P_1\backslash P_1'\backslash P_1''$）和横向距离（$P_2\backslash P_2'\backslash P_2''$）分别不小于圆角半径（$R_3\backslash R_O\backslash R_O$）的二分之一。

3、如权利要求 1 所述的旋转密封元件，其特征在于，内环的第一侧面和第二侧面均通过半径为（$R_2\backslash R_i$）的圆角而与支撑元件（46\46'）的表面相连；支撑元件的表面从位于内环的第一侧面的圆角半径处横向延伸距离（$S_1\backslash S_1'$）、从位于内环的第二侧面的圆角半径处横向延伸距离（$S_2\backslash S_2'$）； 在支撑元件的表面远离外环延伸时，经距离（$S_1\backslash S_1'$）和（$S_2\backslash S_2'$）的支撑元件的表面并不沿与第一方向相反的方向延伸。

4、如权利要求 3 所述的旋转密封元件，其特征在于，支撑元件的距离（$S_1\backslash S_1'$）和（$S_2\backslash S_2'$）分别不小于圆角半径（$R_2\backslash R_i$）的二分之一。

5、如权利要求 4 所述的旋转密封元件，其特征在于，圆角半径（$R_2\backslash R_i$）不大于内环的厚度（$T_2\backslash T_i$）的三分之一。

6、如权利要求 3 所述的旋转密封元件，其特征在于，横向延伸距离（$S_1\backslash S_1'$）和横向延伸距离（$S_2\backslash S_2'$）分别等于或大于圆角半径（$R_2\backslash R_i$）的二分之一。

7、如权利要求 3 所述的旋转密封元件，其特征在于，支撑元件（46）是另一个环并具有一个第二支撑元件（44），该另一个环从第二支撑元件延伸，该第二支撑元件具有沿平行于第一方向的方向测量的一个厚度

（Ts），第二支撑元件的厚度（Ts）大于内环的厚度（T_i）的二分之一。

8、如权利要求 7 所述的旋转密封元件，其特征在于，另一个环的厚度是（T_1），该厚度是垂直于周向参考面测定的，并且第二支撑元件的厚度（Ts）不小于内环的厚度（T_i）。

9、如权利要求 3 所述的旋转密封元件，其特征在于，高度（H_O）与厚度（T_O）之比不大于 1.5（$H_O/T_O \leqslant 1.5$）。

10、如权利要求 3 所述的旋转密封元件，其特征在于，沿着向外的第一方向相互收敛的外环第一侧面和第二侧面之间的夹角范围是 7 到 10 度。

11、如权利要求 1 所述的旋转密封元件，其特征在于，支撑元件具有沿垂直于旋转轴线（Ar）方向测量的一个厚度（Ts）；

所述密封元件还包括一个绕着旋转轴线（Ar）周向地从支撑元件沿第一方向向外延伸的另一个环，该另一个环具有：

沿周向延伸的第一侧面（62）；

沿周向延伸并与第一侧面（62）间隔的第二侧面（64）；

正对第一方向的第一表面（66），它与支撑元件间隔一个在第一方向上测量的高度（H_1），并具有在第一侧面（62）与第二侧面（64）之间的厚度（T_1），该厚度是在邻近第一表面并垂直于周向参考面的位置处测量的；

内环（48）绕着旋转轴线（Ar）周向地从所述另一个环的第一表面（66）沿第一方向向外延伸，该内环（48）的第二表面（74）正对第一方向并与第一表面间隔沿第一方向测量的高度（H_2），外环（50）的第一侧面（76）和第二侧面（78）向外收敛形成一个范围是 7 到 10 度的角度；

另一个环（46）的第一侧面（62）和第二侧面（64）通过半径（R_1）的圆角而与支撑元件的表面相连，半径（R_1）小于或等于另一个环（46）的厚度（T_1）的三分之一，其中，支撑元件（42）的表面（44）从另一个环（46）的第一侧面的圆角半径处横向延伸距离（D_1）、从位于另一个环（46）的第二侧面的圆角半径处横向延伸距离（D_2），每一距离均

等于或大于圆角半径（R_1）的二分之一，并且经距离（D_1）和（D_2）后并不远离另一个环（46）延伸；支撑元件的厚度（Ts）大于或等于另一个环（46）的厚度（T_1）；

内环（48）的第一侧面（68）和第二侧面（72）均通过半径（R_2）的圆角而与另一个环（46）的第一表面（66）相连，半径（R_2）小于或等于内环（48）的厚度（T_2）的三分之一；另一个环（46）的第一表面从另一个环（46）的第一侧面（62）横向延伸距离（S_1）、从另一个环（46）的第二侧面（64）横向延伸距离（S_2），每一距离均等于或大于圆角半径（R_2）的二分之一，并且经距离（S_1）和（S_2）后并不沿与第一方向相反的方向远离内环（48）延伸；

其中，外环（50）的高度（H_3）与厚度（T_3）之比小于或等于 1.5（$H_3/T_3 \leqslant 1.5$）。

说　　明　　书

用于回转式机械的旋转密封元件

本发明涉及一种带有工作介质流动通道和绕转轴沿周向延伸的旋转密封元件的回转式机械。本发明尤其涉及一种由多个叠层环形成的密封元件。它特别适用于在气体涡轮发动机中阻止气体工作介质从工作介质流动通道的边缘泄漏。

回转式机械的一个实例是气体涡轮发动机。这种气体涡轮发动机带有沿轴向贯穿发动机而延伸的转子装置。定子装置沿周向绕转子装置延伸。气体工作介质所用的流动通道穿过发动机而延伸，该通道穿过转子装置和定子装置并由这两个装置上的元件限定。

转子装置通常包括一转盘和多个转动叶片，所述叶片穿过工作介质流动通道沿径向向外延伸。定子装置包括一外壳和定子叶片或支杆阵列，所述定子叶片或支杆穿过工作介质流动通道沿径向向内延伸。在转子装置的转盘和定子装置的支杆之间提供有密封装置，以形成工作介质流动通道的边界。

具有这种结构的一个实例可如专利权人为 Stripinis 和 Walsh、发明名称为“用于回转式机械的定子装置”的美国专利第 5,152,666 号所示。密封装置用相邻的序号 148 和 152 表示。该密封装置包括一个面朝内部的、沿周向延伸的密封棱。该密封棱安装在定子装置上并且在圆周上连续。一旋转密封元件绕机器的转轴 Ar 沿周向延伸。该旋转密封元件包括一个周向连续的支撑元件和多个从支撑元件沿径向向外延伸的密封元件。

旋转密封元件由多个叠层环构成，这些环在环间位置上均带有倾斜的过渡台阶。最外部的环可称为凸棱环，而支撑环可称为基座环。随着密封元件向外延伸，在垂直于圆周方向的方向上环变细。这就是通过减小密封元件的质量来减小密封元件中的应力。每一旋转密封元件均沿周向连续。结果是，当密封元件绕转轴 Ar 旋转时，各环承受很大的圆周应力。

在工作状态下，旋转密封元件会与密封棱摩擦，从而磨蚀密封元件

并在接触区产生热量。由此产生的热应力和机械应力加上由于转子装置高速旋转而产生的很大的圆周应力使得构件在承受周期循环应力后生成裂纹。该周期循环应力是机械应力和热应力作用的结果，所说的机械应力和热应力是在使发动机从 Seal Level Take Off 状态（高转速，高温）加速以及使发动机在运行之后减速至怠速和停机状态的过程中产生的。裂纹向内迅速扩张，并且当其一旦从上游侧延伸到密封元件的下游侧后，该裂纹会迅速扩张。这部分归因于当裂纹向内扩张时圆周应力作用到裂纹的破裂点上。

圆周应力提供一定的使裂纹增长的能量。该能量与作用的圆周应力成正比。对于每一种材料，都有一种与周期循环疲劳相关的临界系数，该系数用临界应力强度系数（Kic）表示。Kic 表示裂纹前锋的应力强度，在该裂纹前锋处，裂纹的增长变得很不稳定，并且经少数几次循环后，构件就会发生破裂。Kic 的单位是磅每平方英寸及二分之一次方英寸（$psi\ in^{1/2}$）.

另一重要的系数是瞬时 K（ki）。Ki 是裂纹的实际应力强度系数。它与应力、几何因数、裂纹尺寸均相关。一旦 ki 超过 kic，则超过了临界应力强度系数，裂纹增长就会变得不稳定而且迅速。裂纹将快速增长并穿过下部支撑元件而扩张，使支撑元件伴随着裂纹而断损，并损坏下游的旋转元件。结果是一旦在旋转刃边中开始形成裂纹，刃边仅能持续一段寿命并且必需更换。如果在常规的检查间隔中没有发现裂纹，裂纹将会扩张至下部的支撑元件中，从而造成有害的影响。

因此，在本申请的申请人指导下工作的科学家和工程师们试图设计一种密封元件并提供一种装置，所说的密封元件能当密封元件中一旦产生裂纹时延长其寿命，所述装置用于在各密封元件上的不同的过渡面处延缓裂纹增长，以保证即使在一次检测中没有发现裂纹，也能够在严重损坏之前的常规检查中发现密封元件上的裂纹。

本发明基于以下认识，即对于一定的裂纹尺寸，改变几何因素（这将影响 ki 的值）可以降低裂纹增长速率，并抵消导致裂纹增长速率加大的裂纹尺寸的增加。利用这种几何因素的改变，可以通过增加裂纹所穿过

的材料的长度来实现减小裂纹前锋每一单位面积上的应力。

如果存在从构件的一个自由侧面延伸到构件的另一个自由侧面的水平裂纹，就会很危险。这种裂纹被称作“贯穿裂纹”。如果存在水平贯穿裂纹，则裂纹基本上只跨过一线性前锋而在一个方向上增长。在一定应力作用下，等量的能量可使裂纹增长得更长，这是因为每一裂纹长度上的单位应力大于在裂纹前锋较长情况下的单位应力。

本发明还基于以下事实，即通过采用几何因素让位于叠层密封元件的环间交界处的裂纹显著弯曲，从而使该处的裂纹增长速率降低。因此如果裂纹弯曲或具有几个扩张方向，则裂纹增长就会延缓，并迫使裂纹消耗能量以在几个不同方向上扩张，而不是仅跨过一个裂纹前锋。这就使得更大的面积分散构件中的能量，从而使裂纹增长缓慢。可取得这一现象所带来的优点的一种方法是在叠层环间采用接合方式，以保证当裂纹垂直于表面延伸时，使裂纹向回弯曲以形成更长的裂纹前锋。另外，叠层环之间的连接处构成了一个便于检查的位置，用于判断是否需要更换构件。

根据本发明，用于回转式机械的可旋转密封元件绕转轴沿周向延伸，并具有绕一个沿周向延伸的平面而设置的一内环和一外环，外环在第一方向上延伸而远离内环表面，并且其表面沿横向延伸而远离所述平面且与所述平面成一角度，即在密封元件的上游侧面和下游侧面处，该表面不会朝着所述平面向内延伸。

根据本发明，内环是基座，而外环是凸棱，它们均是绕一周向延伸平面对称设置的，当裂纹前锋穿过密封元件时，所述周向延伸平面穿过裂纹前锋的前缘所在位置。

本发明的主要特征在于沿周向连续的密封元件。该密封元件包括支撑元件和多个层叠环。每一环均比它与支撑元件之间的环窄。在一实施例中，该元件由一外环和一内环组成。内环具有一相对于外环横向延伸的表面，该表面倾斜且并不远离外环向着支撑元件延伸。在一实施例中，外环带有以预定角度向外部收敛的两个侧面。另一特征在于圆角半径，该圆角从外环的一个侧面向内环的表面延伸。内环表面向内环的侧面延伸并且既可以是向着外环倾斜、也可以是垂直于环所围绕的周向延伸平面。在一特

定实施例中，外环高度与处于邻近内环位置处的外环厚度之比小于或等于$1\frac{1}{2}$。外环和内环之间的圆角半径小于或等于外环厚度的三分之一，并且内环表面上的平面部分大于或等于圆角半径的二分之一。

本发明的主要优点是由于相邻环间交界处的几何尺寸使形成的裂纹在环间交界处的多个横向上扩张，使密封元件的周期循环疲劳寿命增长。本发明的另一优点是密封装置的最短周期循环寿命可以预测，这是通过在叠层环间的交界处对裂纹增长扩张进行阻滞影响来实现的。这使得在构件周期循环寿命的各间隔中能够进行检查，同时当一次检查没有发现裂纹时，仍能保证裂纹不扩张到支撑元件。

图 1 是轴向气流式涡轮发动机的侧视图，该涡轮发动机被部分剖开，以表示其涡轮部分中的一部分构件。

图 2 是图 1 所示气体涡轮发动机上的一部分的放大侧视图，并以剖视的形式表示出了多个沿圆周连续的旋转密封元件。

图 3 是本发明所述放大密封元件的一个实施例的剖面侧视图，该剖面侧视图是沿着通过转动轴线 Ar 的一个平的径向平面截取的。

图 3A 是图 3 所示密封元件的替换实施例的侧视图。

图 4 是图 3 所示密封元件的替换实施例的剖面侧视图，该剖面侧视图是沿着通过转动轴线 Ar 的一个平的径向平面截取的。

图 5 是图 3 所示密封元件的替换实施例的剖面侧视图，该剖面侧视图是沿着通过转动轴线 Ar 的一个平的径向平面截取的。

图 6 是带有多个沿圆周延伸的密封元件的转盘。

图 7 是当本发明所述的一个实施例用于飞机气体涡轮发动机中时，其裂纹增长深度与循环周期寿命之间的关系的曲线图。

图 8 是密封元件的预测循环疲劳寿命与内、外环间几何结构之间的关系的曲线图。

图 9 是当裂纹前锋通过密封元件时裂纹前锋的结构示意图。

图 1 是轴向气流式回转式机械 10 的侧视图。该回转式机械包括一压缩部分 12、一燃烧部分 14 和一涡轮部分 16。气体工作介质的流动通道 18 经过发动机的各部分沿轴向延伸。定子装置 22 经发动机沿轴向延伸并位于气体工作介质的流动通道的外面，以界定所述流动通道。转子装置 24 设置在气体工作介质的流动通道的内部。

图 2 是图 1 所示的涡轮部分 16 中的部分构件的放大图。定子装置 22 包括一外壳 26 和多个定子叶片 28，该定子叶片 28 穿过气体介质的流动

通道沿径向向内延伸。这些定子叶片通过多个沿圆周延伸并且在转子装置的径向外部相互间隔的密封棱 30 而相连接。所述密封棱 30 在圆周方向上连续。

转子装置 24 包括转盘 32 和多个转动叶片 34。转动叶片穿过工作介质流动通道 18 沿径向向外延伸并邻近外壳。每一转动叶片的末端均带有多个密封刃边 36。在转动叶片的末端，每一刃边均沿圆周延伸一小段距离。邻近的刃边形成了沿圆周不连续且不承受圆周应力的、沿圆周延伸的密封。

转子装置 24 还包括一个可旋转的密封元件 38。该密封元件带有沿轴向延伸的支撑元件 42，该支撑元件 42 绕轴 Ar 沿周向延伸。支撑元件具有一表面 44。密封元件带有多个从支撑元件的表面向外延伸的叠层环，这些叠层环用环 46、48 和 50 来表示。支撑元件的厚度为 Ts，这一厚度是在与邻近环的支撑元件的表面相垂直的方向上测量的。

转子装置包括第二密封元件 52。该第二密封元件带有从转盘 32 沿轴向延伸的第一支撑元件 54 和与第一支撑元件连接的第二支撑元件 56。与密封元件 38 相同，该密封元件带有多个沿周向连续的叠层环。密封元件 38 和 52 与密封元件 36 不同，密封元件 36 沿周向不连续。

图 3 是图 2 所示可旋转的密封元件 38 上的一部分的放大剖面图。可旋转的密封元件带有三个叠层环 46、48 和 50。第一环绕轴 Ar 沿周向延伸。第一环从支撑元件 42 的表面 44 上沿第一方向 Dir1 向外延伸，并设置成围绕沿周向延伸的平面 P_ℓ 的形式，平面 P_ℓ 是一个直纹曲面，它沿第一方向 Dir_1 从密封元件向外延伸（如图 3 中箭头所示）。在本实施例中该周向延伸平面是一对称面。

第一环具有沿周向延伸的第一侧面 62 和沿周向延伸并与第一侧面平行的第二侧面 64。第一侧面和第二侧面到对称面的距离相等。第一环还具有正对第一方向的第一表面 66。第一表面与支撑元件的表面 44 之间的距离是 H1，该高度 H1 是在第一方向上测量的。第一环上第一侧面和第二侧面之间的厚度是 T1，该距离是在垂直于圆周方向的方向上测量的。该厚度 T1 是第一表面的延伸距离。

第一环上的第一侧面和第二侧面 62、64 均通过一半径为 R1 的圆角

而与支撑元件的表面 44 相连。圆角半径 R1 小于或等于第一环厚度的三分之一（ R1 ⩽ 1/3 T1 ）。支撑元件表面从第一环的第一侧面 62 沿横向延伸距离 D1，并从第一环的第二侧面 64 沿横向延伸距离 D2。距离 D1 和 D2 均等于或大于圆角半径 R1 的二分一（ D1、 D2 ⩾ 1/2 R1 ）。支撑元件的表面经过该距离 D1 和 D2 后并不沿与第一方向相反的方向延伸。在图示实施例中，上述方向与方向 D1 垂直。在另外的实施例中，所述表面可以在第一方向上倾斜。支撑元件的厚度 Ts 大于或等于第一环厚度 T1 的二分之一。

第二环 48 绕轴 Ar 沿周向延伸并从第一环 46 的第一表面 66 向外伸出。第二环在第一方向上延伸并具有沿周向延伸的第一侧面 68 和沿周向延伸并与第一侧面平行的第二侧面 72。第二环 48 上第一侧面和第二侧面之间的厚度为 T2，该厚度是沿垂直于圆周方向的方向测量的。第二环具有正对第一方向的第二表面 74，第二表面 74 与第一表面 66 之间的距离是 H2，该高度 H2 是在第一方向上测量的。第二环上的第二表面 74 的长度与邻近第二表面处的厚度 T2 相等。

第二环的第一侧面和第二侧面 68、 72 均通过一半径为 R2 的圆角而与第一环的第一表面相连。该圆角半径 R2 小于或等于邻近圆角 R2 处的第二环厚度 T2 的三分之一（ R2 ⩽ 1/3 T2 ）。第一环 46 的第一表面 66 从第一环 46 的第一侧面 62 沿横向延伸距离 S1 并从第一环的第二侧面 64 沿横向延伸距离 S2。每一距离 S1 和 S2 均等于或大于圆角半径 R2 的二分之一（ S1、 S2 ⩾ 1/2 R2 ）。经过距离 S1 和 S2 的第一表面并不从第二环处沿与第一方向相反的方向延伸。

在替换实施例中，第二环可以是与支撑元件相啮合的环。在这种实施例中，第二环将是内环而第三环将为外环。内环与支撑元件表面的关系可以象它与第一环表面的关系一样。这种形式的实施例可如图 6 中的密封元件 38a 所示。如图 6 中的元件 38b 所示，另一实施例中可带有多于三个的圆环。

第三环 50 绕轴 Ar 沿周向延伸并从第二环 48 的第二表面 74 沿第一方向向外伸出。第三环 50 具有沿周向延伸的第一侧面 76 和沿周向延伸的

第二侧面 78。第一侧面和第二侧面在向外的方向或第一方向上收敛，并且两侧面间的夹角范围是七到十度（7°～10°）。该第三环具有正对第一方向的第三表面 82。第三表面与第二表面之间的距离是 H3，该高度 H3 是在第一方向上测量的。第三环上的第一侧面和第二侧面之间的厚度是 T3，该厚度 T3 是在垂直于圆周方向的方向上并且邻近第二表面测量的。高度 H3 与厚度 T3 之比小于或等于$1\frac{1}{2}$（H3/T3≤1.5）。基于在摩擦中热量传递的原因，在本技术领域中通常采用这一尺寸。第三环的第一侧面和第二侧面 76、78 均通过一半径为 R3 的圆角而与第二环的第二表面相连。该圆角半径 R3 小于或等于在邻近第二表面处测量的第三环厚度 T3 的三分之一。第二环的第二表面 74 从第二环的第一侧面 68 沿横向延伸距离 P1 并从第二环的第二侧面 72 沿横向延伸距离 P2。每一距离均等于或大于圆角半径 R3 的二分之一。第三环 50 的厚度 T3 大于第二环的第二表面的横向距离 P1 或横向距离 P2（T3> P1，P2）。经过距离 P1 和 P2 后的第二表面并不沿与第一方向相反的方向延伸，因此并不远离第三环。

在图 3A 所示的替换实施例中，第二表面 74a 可以在第一方向上向第三环延伸。

图 4 是图 3 所示密封元件 38 的替换实施例 38’，它沿水平方向延伸，这时周向平面或表面 P_{ℓ_1} 平行于转轴 Ar。在其它方面，图 4 所示实施例与图 3 所示的、具有上述 H3 和 T3 的关系、上述高度、厚度和圆角半径以及环表面的平面之间的关系的实施例相同。例如，外环 50’ 的厚度 To 大于内环 48’ 的第一表面 74’ 的横向距离 P1’ 或横向距离 P2’（To> P1’，P2’）。

图 5 是图 4 所示的旋转密封元件 38’ 的替换实施例 38”。密封元件所绕的周向延伸平面 P_{ℓ_2} 是倾斜的并与转轴 Ar 成一角度。在其它方面，除了外部环的最外表面具有一个从该最外表面伸出的末端 84 以外，该实施例与图 3 和图 4 所示实施例相同，上述末端 84 具有一个与定子装置上的沿周向延伸密封棱 30 平行的表面 86。

图 6 是转子装置 24 的替换实施例 92 的侧视图，为了清晰起见，该装置剖去了部分结构。如图所示，支撑元件 94a、94b 既可以是圆锥形又可以是圆柱形的。在任一种情况下，支撑元件的厚度 Ts 均是在垂直于支撑元件表面的方向上、靠近密封部分测量的。如图 6 中各密封部分的不同实施例 38、38a、38b 所示，在每一密封部分上的圆环数目可以是二、

三或四。如图 6 所示，表面 95a 倾斜而偏离第一方向（这减小了几何因素对减缓增长的影响），表面 95b 朝着第一方向倾斜（这增加了几何因素的影响）。

图 7 是根据在旋转试验台上进行的实际实验而得到的、表示密封元件的裂纹深度与周期循环寿命之间的关系的曲线图。曲线 A 表示在刃边一侧带有斜面的结构。曲线 B 表示了本发明，即带有不偏离第一方向倾斜的表面的结构。如曲线 B 所示，在同样的裂纹深度下，本发明的周期循环寿命几乎是具有大半径的锥形结构的周期循环寿命的二倍（16,000 次循环对照约 8,000 次循环）。

图 8 是表示周期循环寿命与用于一种气体涡轮发动机的内、外环间连接体的表面结构的关系的无量纲比较曲线图。对于环间的过渡斜面，当缓斜面改变成陡斜面（锥度、大圆角 R、小圆角 R）时，周期循环寿命会少量增长。采用小平面（平面＜1/2 圆角 R）可增长循环寿命。当平面接近与圆角半径 R 的二分之一相等或大于它的数值时，循环周期寿命显著增长。

图 9 是当裂纹通过刃边密封增长时裂纹在径向扩张的示意图。每一条线均表示当裂纹穿过构件时的裂纹推进前锋。如图所示，裂纹前锋的前部边缘沿周向对称平面 P_ℓ 移动。

在气体涡轮发动机的运转过程中，转子装置以每分钟数千转的速度旋转。在周向连续密封部分处会产生圆周应力。当密封部分与密封棱摩擦时，摩擦力会产生热并在圆周应力上加以热应力和机械应力。最终会在密封部分上形成裂纹。该裂纹通过最外面的环 50（通常称为凸棱环或凸棱）而扩张。当裂纹传到环的上游（第一）侧面 76 和下游（第二）侧面 78 时，该裂纹扩张得非常非常快。裂纹经过外环（第三环 50）而很快传到外环与内环（第二环 48）的交界处。

裂纹前锋通常垂直于其横穿的自由表面（侧面 76、78）。作为第二平面 74 的结果，在两环交界处，裂纹前锋呈明显的椭圆形或圆形。这使裂纹在几个方向上增长，在所述方向上可在比裂纹更长的长度上使拉伸能量分散，而所述拉伸能量会使裂纹增长。因此，几何因素减小了裂纹增

长速度，并提高了构件的周期循环寿命。当裂纹向下传到第二（内）环48（见图7，曲线B）时，裂纹前锋最终会到达内环的上游侧面和下游侧面。在这种情况下，裂纹呈浅椭圆形（缩短了裂纹长度）并开始向支撑元件快速移动。如果有附加的环或第三环，则裂纹以同样的方式继续增长下去。

当裂纹传到支撑元件时，裂纹再次横穿靠近最内环的平面区域，引起裂纹再次呈椭圆形。裂纹前锋以圆形迅速向下移动，因为它与平面相交并垂直于平面。因为裂纹前锋是圆形，所以裂纹前锋的深度约等于最内环厚度T1的二分之一。结果是，支撑元件的厚度大于内环厚度的二分之一并最好等于或大于内环厚度T1。这保证了裂纹不会从上表面延伸到支撑元件的下表面，避免了裂纹在上述方向上穿通。

在沿径向相互邻近的环的交界处，内环和外环（以及一定结构中的第三环）的几何因素使裂纹前锋呈现多维形状。裂纹前锋必然在上述所有方向上分散能量，从而降低裂纹前锋增长的速率。这就在环交界处提供了一种简单的检测判别依据，并且当在检测中没有发现密封元件上存在裂纹时提供了一个安全裕度。例如如果裂纹前锋没有通过最外环和中环之间的第一交界处，则该结构可达到预测寿命。对于已到达位于第二环和第一环之间的下一交界处的裂纹前锋，刃边可达到另一预测寿命。不同之处在于，在这两种检测中无法发现裂纹。发现裂纹的结果是，可以拆下转子装置并进行有效修理而不会使盘严重损害。这使得在构件周期循环寿命的各间隔中能够进行检查，同时还确保了裂纹不扩张至最终的失效。

尽管参照上述详细的实施例表示和描述了本发明，但应该理解到，在不脱离本发明权利要求的范围和精神的情况下，本领域技术人员可做出多种变型。

说 明 书 附 图

图1

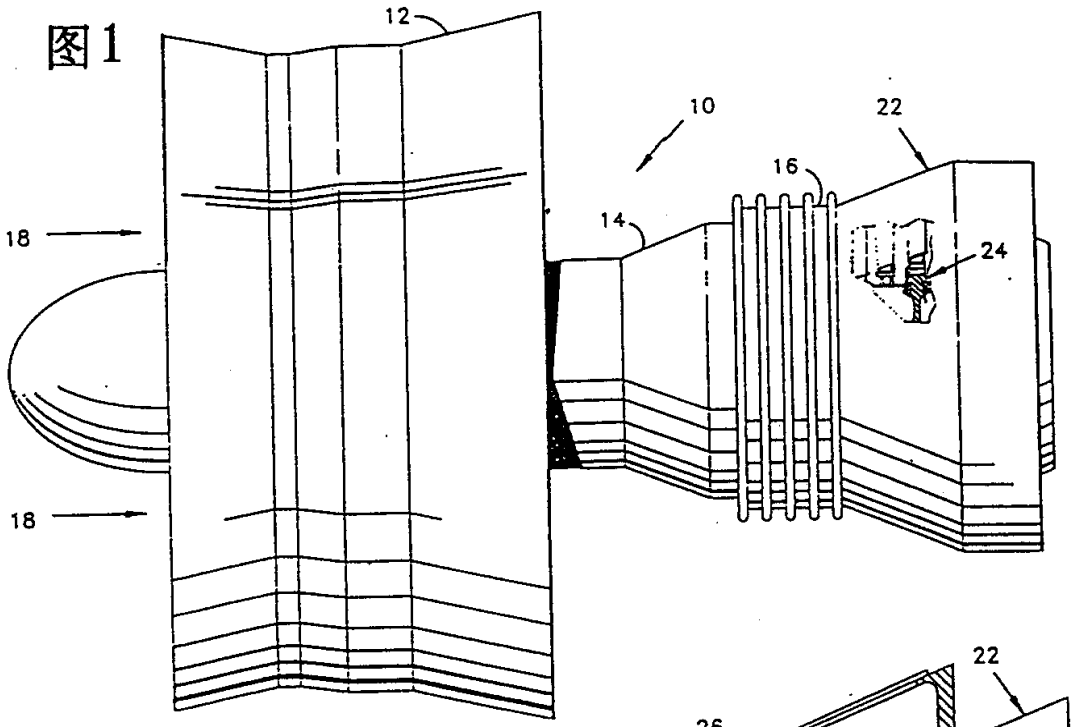

12
10
22
16
14
24
18
18

图2

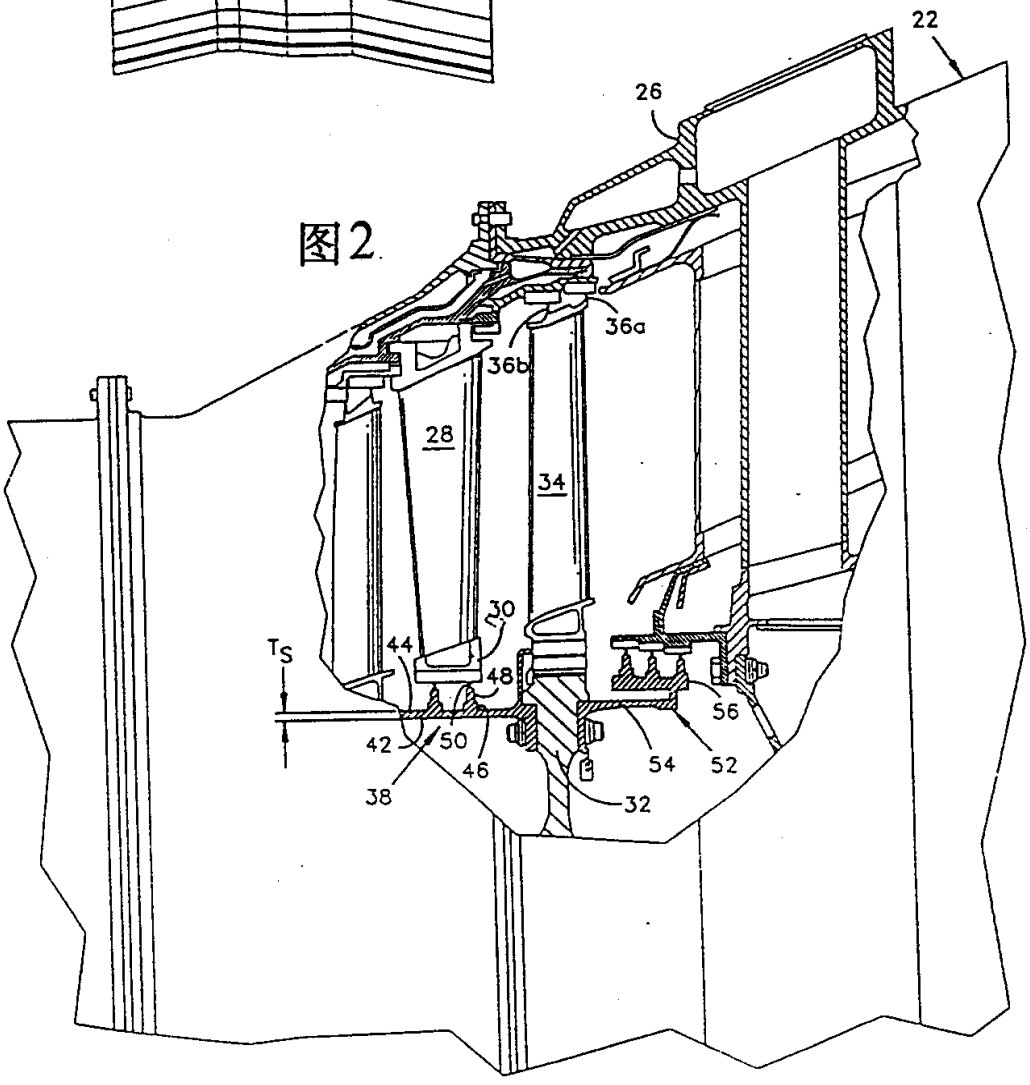
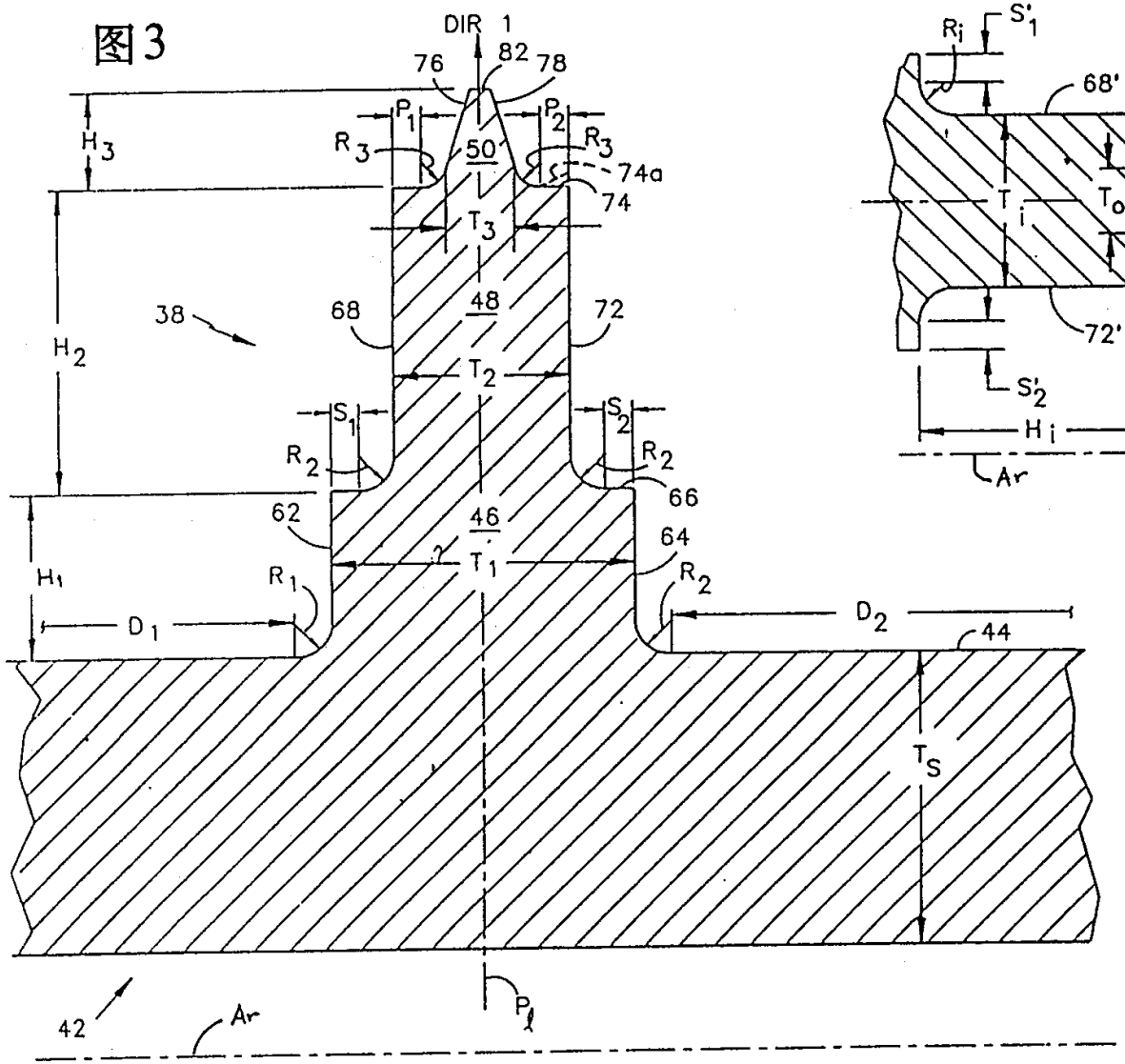

22
26
36a
36b
28
34
30
44
48
T_S
56
42
50
46
54
52
38
32

图3


DIR 1
76
82
78
P1
P2
R3
R3
50
74a
74
H3
T3
48
38
68
72
H2
T2
S1
S2
R2
R2
66
62
46
64
H1
R1
T1
R2
D1
D2
44
TS
42
Ar
Pl

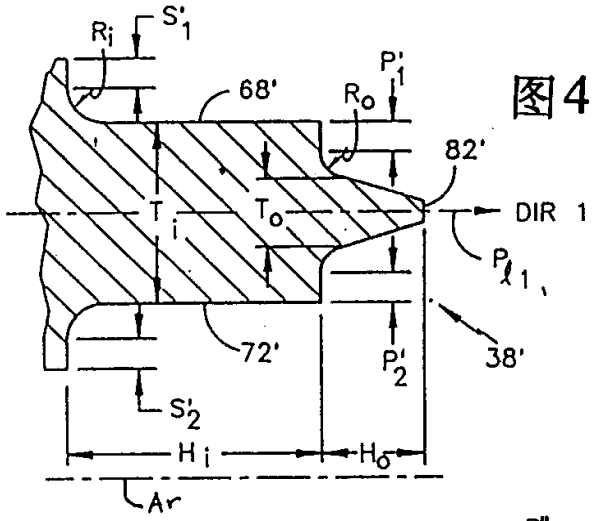

Ri
S'1
68'
Ro
P'1
82'
DIR 1
Ti
To
Pl1
72'
P'2
38'
S'2
Hi
Ho
Ar

图4

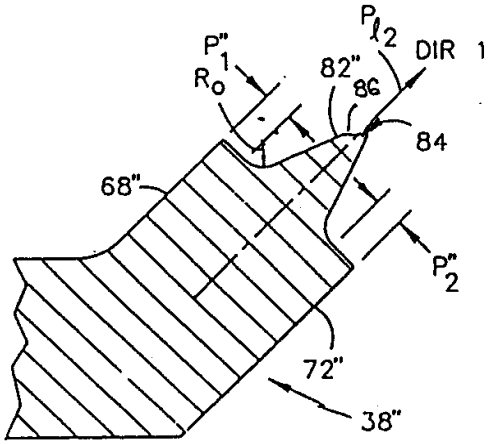

P"1
Ro
Pl2
DIR 1
82"
86
84
68"
P"2
72"
38"

图5

图6

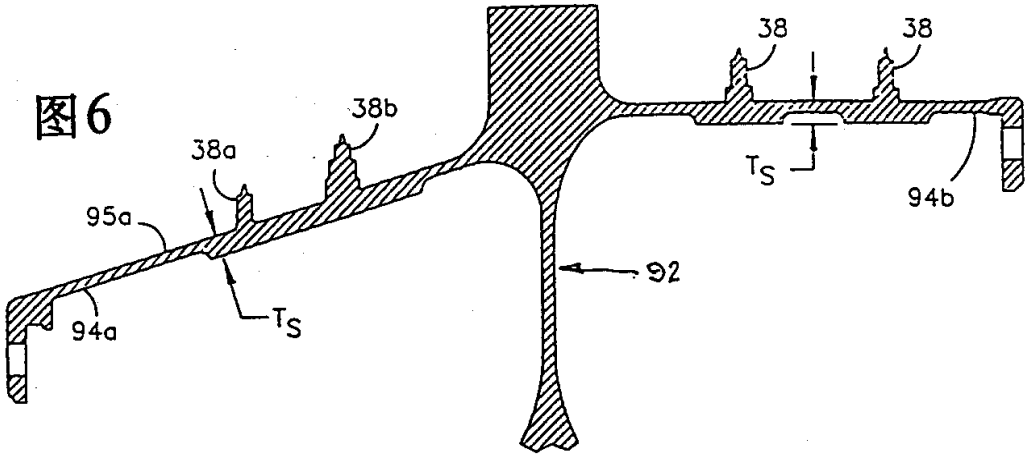

38
38
38b
38a
95a
T_S
94b
92
94a
T_S

图7

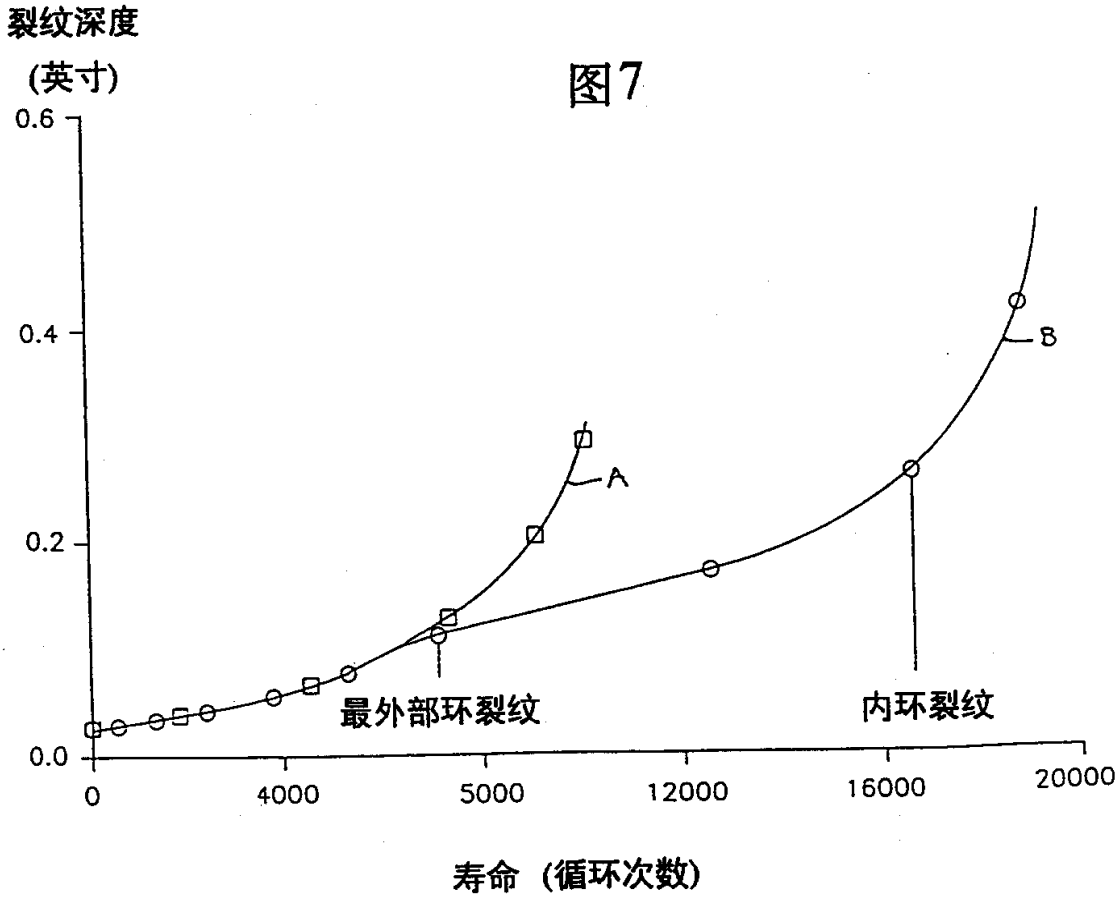
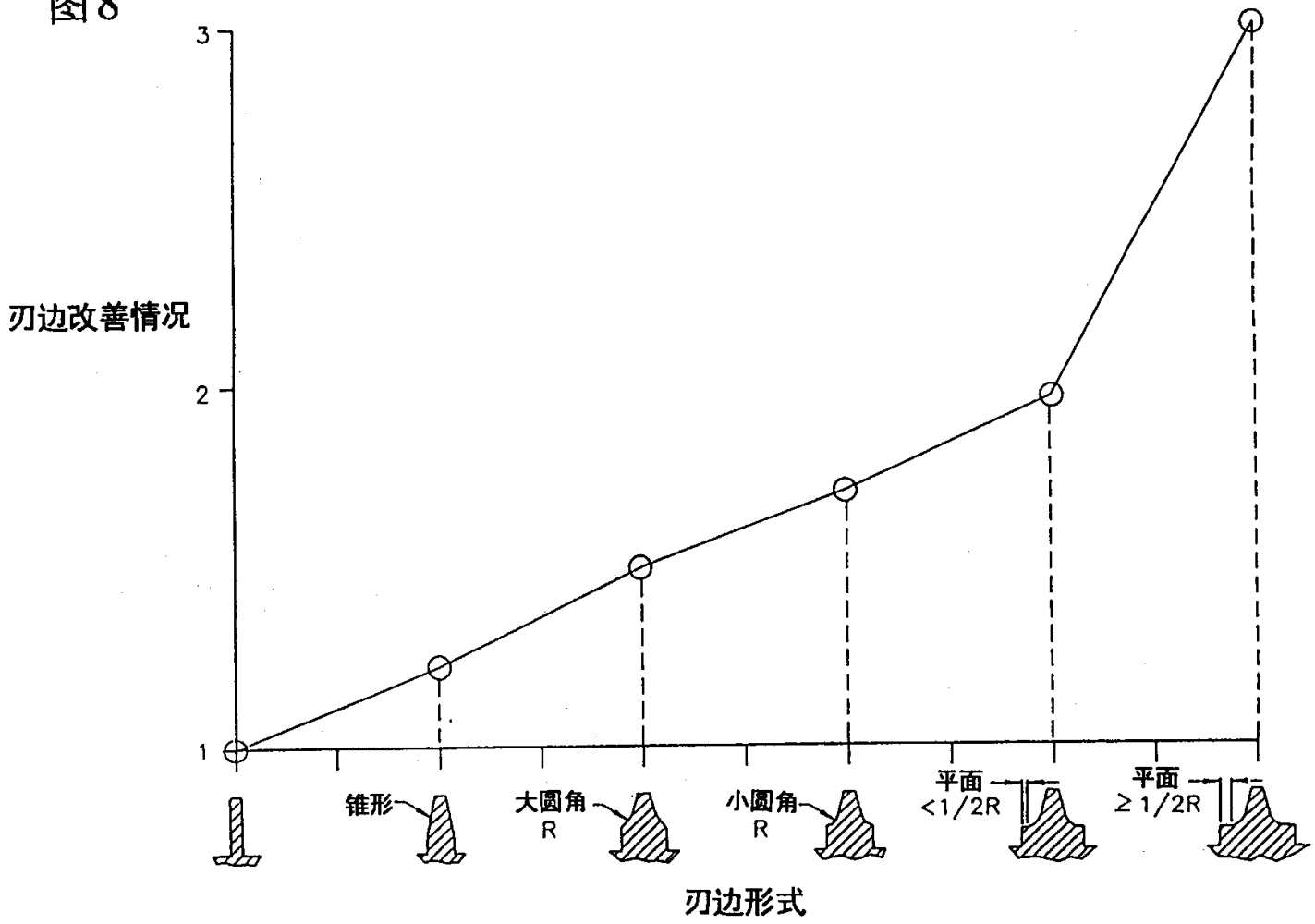

裂纹深度
(英寸)
0.6
0.4
0.2
0.0
A
B
最外部环裂纹
内环裂纹
0
4000
5000
12000
16000
20000
寿命 (循环次数)

图8



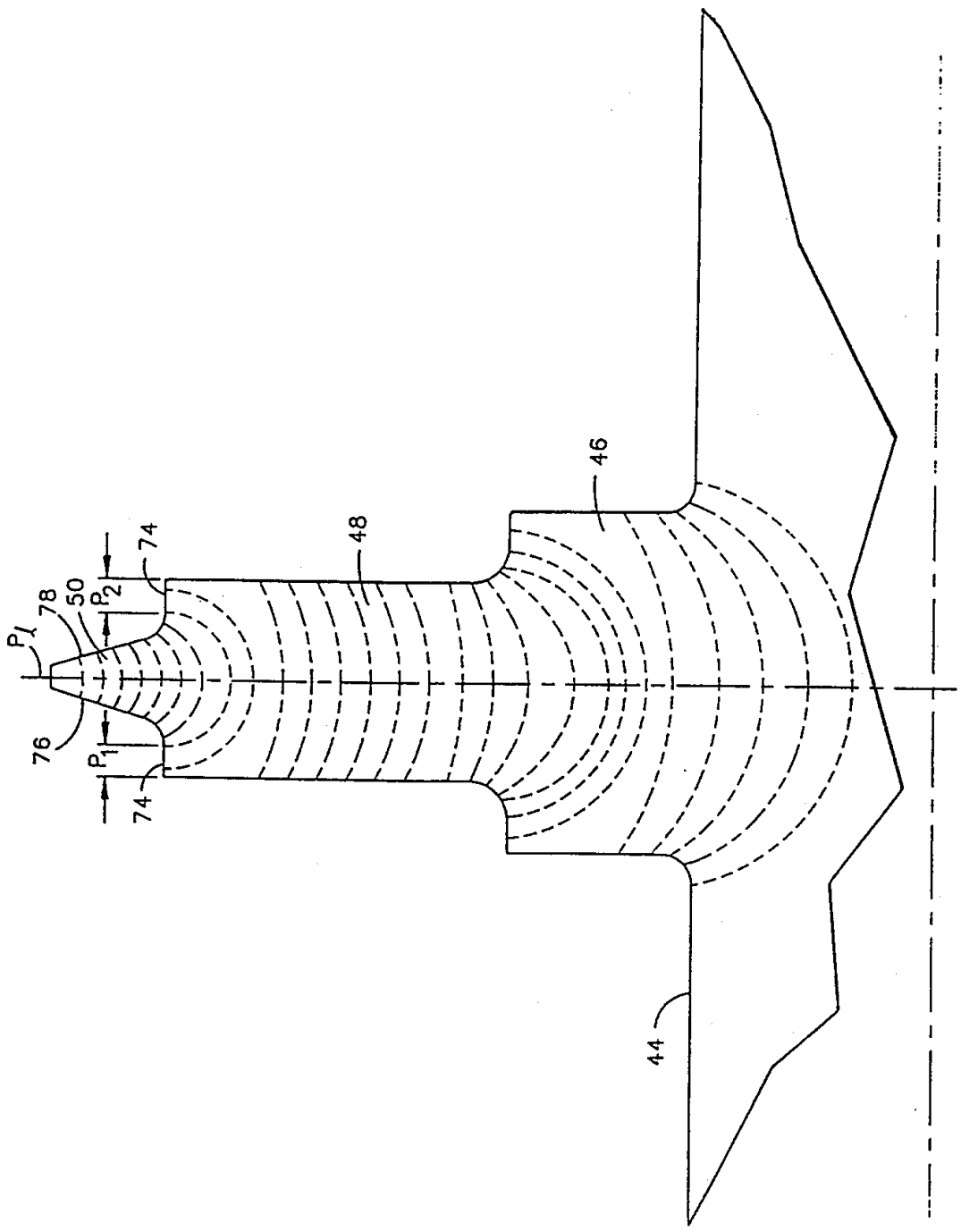
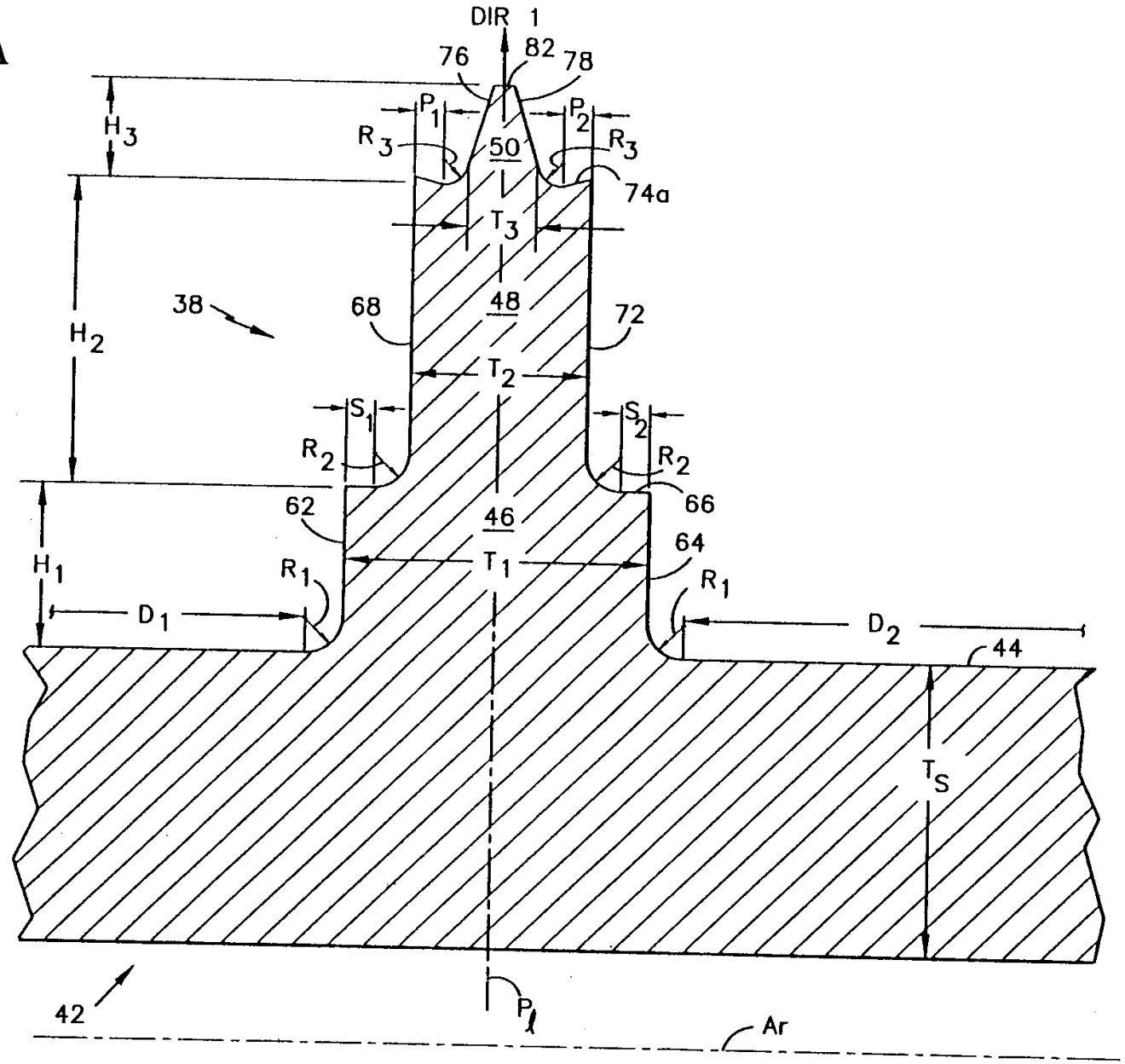


图9

图3A


DIR 1
76
82
78
P_1
P_2
R_3
R_3
50
74a
H_3
T_3
38
68
48
72
H_2
T_2
S_1
S_2
R_2
R_2
62
66
46
64
H_1
R_1
T_1
R_1
D_1
D_2
44
T_S
42
P_l
Ar