



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200510051644.4

[43] 公开日 2005年8月17日

[11] 公开号 CN 1654787A

[22] 申请日 2005.2.8

[21] 申请号 200510051644.4

[30] 优先权

[32] 2004. 2. 10 [33] US [31] 10/774399

[71] 申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 B·A·拉朗格 T·B·劳埃德

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
代理人 周备麟

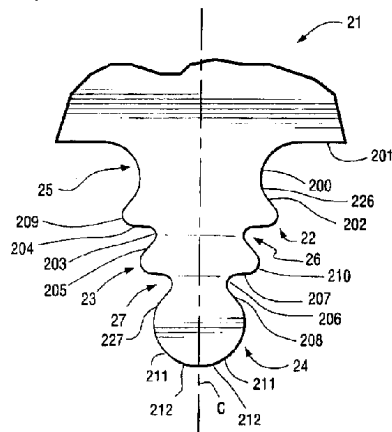
权利要求书2页 说明书9页 附图12页

[54] 发明名称 涡轮第三级叶片和转子叶轮改进的枞树结构和拉削槽结构

成, 以减小装配件上的应力。

[57] 摘要

一种涡轮叶片(11)和轮桩(13)的装配件, 能将该涡轮第三级中的叶片(11)的数目从九十二个减少到九十个而同时减少叶片(11)和轮桩(13)的装配点处的应力。叶片(11)和轮桩(13)用互补的内圆角(25, 26, 27, 31, 32, 33)和柄舌(22, 23, 24, 28, 29, 30)形成, 它们用于将叶片(11)插入两个轮桩(13)之间的拉削槽(12)中。叶片(11)和轮桩(13)两者上的内圆角(25, 26, 27, 31, 32, 33)的角度为50~59度。轮桩(13)的上表面挖出凹抗以减少重量, 而叶片(11)和轮桩(13)两者的柄舌(22, 23, 24, 28, 29, 30)和内圆角(25, 26, 27, 31, 32, 33)由圆弧表面(200, 203, 206, 209, 210, 211, 212, 213, 215, 216, 219, 222, 223, 224, 225, 227, 228)和直表面(201, 202, 204, 205, 207, 208, 214, 215, 217, 218, 220, 221)形



1. 一种涡轮，包括：

一个具有多个拉削槽(12)的叶轮(10)，每个槽具有内圆角(25, 26, 27, 31, 32, 33)和柄舌(22, 23, 24, 28, 29, 30)的交插系统；以及

多个叶片(11)，每个叶片具有内圆角(25, 26, 27, 31, 32, 33)和柄舌(22, 23, 24, 28, 29, 30)的相应交插系统，因而能将所述多个叶片(11)一对一地装入所述叶轮(10)上的所述多个拉削槽(12)中；

其中，在所述叶片(11)和轮桩(13)上的所述内圆角(25, 26, 27, 31, 32, 33)和柄舌(22, 23, 24, 28, 29, 30)的交插系统起作用而减小作用在所述叶片(11)和轮桩(13)上的应力，所述交插系统的内圆角(25, 26, 27, 31, 32, 33)和柄舌(22, 23, 24, 28, 29, 30)每个由圆弧表面(200, 203, 206, 209, 210, 211, 212, 213, 215, 216, 219, 222, 223, 224, 225, 227, 228)和直表面(201, 202, 204, 205, 207, 208, 214, 215, 217, 218, 220, 221)组合而形成；

其中，在所述多个轮桩(13)上形成的内圆角(25, 26, 27, 31, 32, 33)具有50~59度的角度。

2. 一种如权利要求1中所述的涡轮，其特征在于，在所述多个叶片(11)上形成的内圆角(25, 26, 27, 31, 32, 33)具有50~59度的角度。

3. 一种如权利要求1中所述的涡轮，其特征在于，每个所述叶片(11)和轮桩(13)具有三个交错的柄舌(22, 23, 24, 28, 29, 30)和内圆角(25, 26, 27, 31, 32, 33)。

4. 一种如权利要求3中所述的涡轮，其特征在于，每个所述叶片(11)有一个由具有多于一个的曲率半径的圆弧表面(200, 203, 206, 209, 210, 211, 212, 213, 215, 216, 219, 222, 223, 224, 225, 227, 228)构成的底部柄舌(22, 23, 24, 28, 29, 30)。

5. 一种如权利要求4中所述的涡轮，其特征在于，每个所述叶片(11)还包括至少一个直表面(201, 202, 204, 205, 207, 208, 214, 215, 217, 208, 220, 221)。

6. 一种如权利要求 1 中所述的涡轮，其特征在于，每个所述轮桩（13）有一个由具有多于一个曲率半径的圆弧表面（200, 203, 206, 209, 210, 211, 212, 213, 215, 216, 219, 222, 223, 224, 225, 227, 228）构成的底部内圆角（25, 26, 27, 31, 32, 33）。

5 7. 一种如权利要求 6 中所述的涡轮，其特征在于，每个所述轮桩（13）还包括至少一个笔直的表面（201, 202, 204, 205, 207, 208, 214, 215, 217, 218, 220, 221）。

8. 一种如权利要求 4 中所述的涡轮，其特征在于，所述圆弧表面（200, 203, 206, 209, 210, 211, 212, 213, 215, 216, 219, 222, 10 223, 224, 225, 227, 228）具有 0.1992 英寸和 0.3360 英寸的曲率半径。

9. 一种如权利要求 6 中所述的涡轮，其特征在于，所述圆弧表面（200, 203, 206, 209, 210, 211, 212, 213, 215, 216, 219, 222, 223, 224, 225, 227, 228）具有 0.2052 英寸和 0.3420 英寸的曲率 15 半径。

10. 一种如权利要求 1 中所述的涡轮，其特征在于，每个所述轮桩（13）的顶部表面挖有凹坑，从而减小所述叶轮（10）的重量。

涡轮第三级叶片和转子叶轮改进的枞树结构和拉削槽结构

发明领域

- 5 本发明涉及涡轮，尤其涉及涡轮叶片和叶片装入其中的相应的涡轮拉削槽的根部（称为枞树结构）的改进的形状。更明确地说，本发明提供能减少所需叶片数目和作用在其连接点处的叶片和叶轮上的应力的改进的枞树结构/拉削槽构型。

10 背景技术

一个普通的燃气涡轮的第三级能够具有多至92个的从转子或轮沿径向伸出的叶片。每个叶片有一根部，其构型与轮中的相应拉削槽匹配。该枞树结构/拉削槽构型设计成能减小瞬时出现和在正常操作速率下的应力。

- 15 现有的已知枞树结构/拉削槽构型公开于1981年4月7日颁布的Goodwin的美国专利No.4,260,331；1989年4月25日颁布的Pisz等人的美国专利No.4,824,328；1997年11月18日颁布的Dierksmeier等人的美国专利No.5,688,108；1998年4月21日颁布的Heppenstall的美国专利No.5,741,119；1998年11月17日颁布的Dierksmeier等人的美国专利No.5,836,742；以及1999年1月26日颁布的Dierksmeier等人的美国专利No.5,863,183中。这些现有技术专利中的每一个描述其公开的枞树结构/拉削槽构型的线、弧和角度的几何尺寸的特定细节，这些细节能减小在连接点处形成的离心力、弯矩和振动及由此产生的峰值应力。

- 25 有很多理由希望减少连接在轮上的叶片的数目，包括减少部件（降低费用）、提高自然频率、减少叶型损失（表面摩擦）以及减少沿叶尖的泄漏。但是，减少叶片数目也造成每个单个叶片更重，因其覆盖更长的周边长度。简单地改变现有枞树结构和拉削槽构型上叶片和槽的尺寸而保持同一尺寸的轮，以减少叶片的数目，将不会把作用在连接点上的应力减到最小。
- 30

发明概要

本发明的目的是提供一种改进的枞树结构/拉削槽构型或结构，用于对一有 90 个叶片的高温涡轮的增强从叶片（包括翼面、轴柄和枞树结构连接件）到叶轮（也称为轮盘）的负荷传递。

5 本发明的另一目的是减小转子环上由叶片枞树结构和轮桩（称为死轮缘环）施加的拉力的量值。

本发明的又一目的是以改进叶片和叶轮两者的低周期疲劳（LCF）和高周期疲劳（HCF）可能性的结构形式来减小集中应力的幅值。

本发明的又一目的是减小经枞树结构越过级的泄漏的可能性，并平衡各柄舌之间从叶片到轮桩的负荷传递。

10 本发明设计成具有改进现有技术的燃料效率的意图和目的。在热燃气路径中采取了若干措施来达到该目的，其中减池了叶片数目。涡轮中的第三级有 90 个叶片而非通常的 92 个叶片。减少叶片数目的好处包括：减少部件（费用），提高自然频率，减少叶型损失（表面摩擦），减少沿叶尖的泄漏等。

15 但是，减少叶片数目也造成每个单个的叶片更重，因为它包含更长的周边长度。在新的枞树结构中已经考虑了该增加的重量和周边长度，因为现有技术结构通常是有多达 92 个叶片设计的。

20 该新的枞树结构在叶片和叶轮之间具有为了增强从叶片到轮桩的负荷传递而同时减小集中的应力和转子拉力而必需独特的尺寸和关系。该新的枞树结构是通过结构参数和热-机械负荷的迭代法而达到的。该结构具有某些已成功地改进这种负荷传递的关键特点。

25 但是，该结构的尺寸可较大或较小，只要转子叶轮或轮盘的直径相应地较大或较小，或者叶片和叶轮的两侧同样偏移即较宽或较窄。此外，虽然这里提供了叶片和叶轮的尺寸的优选的容差范围，但该技术的专业人员将会知道，在本发明的实施中也可采用较宽的容差范围。

30 虽然该结构的预期用途是 GE 6C IGT 型燃气轮机，但它或其比例也可以用于其中叶片连接在高温环境中的转子叶轮或轮盘上的其它用途。

附图简述

图 1 表示带有附接叶片的涡轮的一部分；

- 图 2A 代表在附接处的叶片一部分的示意截面图并示出枞树结构轮廓；
- 图 2B 代表在附接处的涡轮的一部分的示意截面图并示出拉削槽轮廓；
- 5 图 3 表示相应轮桩之间联锁的叶片的前视图；
- 图 4 代表叶片附接部分的内截面示意图；
- 图 5 表示叶片根部的部分侧视图；
- 图 6 表示在操作（负荷向外）状态下安装的叶片和相邻轮桩之间的间隙；
- 10 图 7 表示轮桩上边缘的透视图；
- 图 8 表示带有安装叶片的轮桩上边缘的透视图；
- 图 9 和图 10 表示叶片的尺寸方面；
- 图 11 和图 12 表示其中安装了图 9 和图 10 的叶片的相应拉削槽的尺寸方面；以及
- 15 图 13 示意表示优选实施例尺寸的微小变化的区域。

发明详述

本发明的关键元件和基本元件由两个系列的与邻近部件相切的线、弧和椭圆限定。一个系列表示叶片根部的枞树结构形状的轮廓或结构，而另一系列表示装入枞树结构形状的转子轮的相应拉削槽的轮廓或结构。

20

图 1 表示一个装配的转子轮 10 的一部分，包括装入相应的拉削槽 12 中的叶片。这样，轮拉削槽 12 的轮廓（在图 1 的未填充的拉削槽中最清楚地看到）基本上被叶片 11 的称为叶片根部的部分填充（由图 1 的填充的轮拉削槽最清楚地看到）。

25

图 2A 用截面示意结构表示叶片 11 的叶片根部 21 的轮廓。叶片根部 21 包括三组曲线柄舌 22、23、24 和三组内圆角 25、26、27。每一组柄舌和内圆角中的一个柄舌和内圆角设置在中心线 C 的每一侧上。在中心线 C 的每一侧上和柄舌 22 上方设置内圆角 25。柄舌 22 设置在中心线 C 的每一侧上而在内圆角 25 和 26 之间。柄舌 23 设置在中心线 C 的每一侧上而在内圆角 26 和 27 之间。柄舌 24 在中心线 C 处互相结合而设置在内圆角 27 下方。

30

每个内圆角 25、26、27 包括一个在其中央的向内弯曲的径向表面和两个在其两侧的基本上笔直的表面。在内圆角 25 的情况下，该中央圆弧表面利用一过渡弧结合到下直表面上。对于每个内圆角 25，圆弧表面 200 在其上端处连接到直表面 201 而在其下端处连接到过渡弧 5 226，该上端也形成叶片根部 21 的上部。弧 226 的另一端连接到直表面 202，后者也形成柄舌 22 的一部分。对于每个内圆角 26，圆弧表面 203 夹在也形成柄舌 22 一部分的直表面 204 和也形成柄舌 23 一部分的下直表面 205 之间。对于每个内圆角 27，圆弧表面 206 夹在也形成柄舌 23 一部分的上直表面 207 和也形成柄舌 24 一部分的下直表面 208 10 之间。

每个柄舌 22、23 包括一个夹在两侧上的笔直的表面之间的向外弯曲的径向表面。对于每个柄舌 22，圆弧表面 209 夹在也形成内圆角 25 一部分的上直表面 202 和也形成内圆角 26 一部分的下直表面 204 之间。对于每个柄舌 23，圆弧表面 210 夹在也形成内圆角 26 一部分的上 15 直表面 205 和也形成内圆角 27 一部分的下直表面 207 之间。

每个柄舌 24 包括一个由两侧上的圆弧表面和直表面夹在一起的向外弯曲的表面。对于每个柄舌 24，向外弯曲的表面 211 在其上端处连接到椭圆表面 227 上，后者与也形成内圆角 27 一部分的直表面 208 一起过渡。表面 211 在其下端处连接到另一向外弯曲的表面 212，而每个 20 柄舌 24 的圆弧表面 212 结合在中心线 C 处。

图 2B 以示意截面图结构表示转子轮 10 的拉削槽 12 的轮廓。拉削槽 12 由两个相邻的轮桩 13 之间的物理空间形成，因此由同一组曲面界定。轮桩 13 包括三组柄舌 28、29、30 和三组内圆角 31、32、33。拉削槽 12 的内圆角和柄舌与叶片根部 21 的柄舌和内圆角是互补的， 25 使得叶片根部可以装入拉削槽 12 中。

每个柄舌 29、30 包括一个夹在两直表面之间的向外弯曲的径向表面。对于每个柄舌 29，圆弧表面 216 夹在也形成内内圆角 31 一部分的上直表面 217 和也形成内圆角 32 一部分的下直表面 218 之间。对于每个柄舌 30，圆弧表面 219 夹在也形成内圆角 32 一部分的上直表面 220 30 和也形成内圆角 33 一部分的下直表面 221 之间。

每个柄舌 28 包括一个在其上端连接到一直表面而在其下端由一椭圆曲面过渡到一直表面的向外弯曲的表面。对于每个柄舌 28，圆弧表

面 213 在其上端连接到直表面 214, 后者形成一个邻近另一拉削槽 12 的顶表面。弯曲曲面 213 在其下端连接到椭圆表面 229, 后者过渡到形成内圆角 31 一部分的直表面 215 中。

5 每个内圆角 31、32 包括一个夹在两侧上的基本笔直的表面之间的向内弯曲的径向表面。对于每个内圆角 31, 圆弧表面 222 夹在也形成柄舌 28 一部分的上直表面 215 和也形成柄舌 29 一部分的下直表面 217 之间。对于每个内圆角 32, 圆弧表面 223 夹在也形成柄舌 29 一部分的上直表面 218 和也形成柄舌 30 一部分的下直表面 220 之间。

10 每个内圆角 33 包括一个向内弯曲的表面 224, 后者的每端连接到另一向内弯曲的表面。表面 224 在其上端连接到圆弧表面 228, 后者过渡到也形成柄舌 30 一部分的直表面 221。表面 224 在其下端连接到圆弧表面 225, 而每个内圆角 33 的这些表面 225 结合在中心线 C 处。

15 图 3 表示联锁在轮桩 13 内 (或安装在拉削槽 12 中) 的叶片根部 21 的前视图。在图 3 中, 空的拉削槽 12 邻接安装了叶片根部 21 的拉削槽并表示轮桩 13 的透视的上柄舌 28。该枞树结构和拉削槽轮廓保持足够活动的轮缘半径以减少该枞树结构和轮桩中的死重量。更具体地说, 如图 4 中所示, 枞树结构上底部柄舌上方 (在内圆角 27 之间) 的颈部的尺寸做成能承载处于合理的应力水平的必要负荷。

20 图 5 表示叶片根部 21 的部分侧视图。如图 6 中所示, 当叶片根部插入拉削槽 12 中时, 在叶片根部 21 和轮子 10 的轮桩 13 之间存在小间隙 60。该间隙或余隙是用来便于将叶片插入拉削槽中和适应制造容差的。

25 如图 7 和图 8 中所示, 在一个切向截面上观看时, 轮桩 13 的上柄舌 28 的中心区 70 已挖有凹坑, 以减小重量而减小轮桩 13 中的转子拉力和应力。端部上的凸耳 71 对着叶片保持密封, 以减小通过枞树结构/轴柄区的泄漏。

30 如上所述, 叶片根部 21 包括一种独特尺寸和交错的三重内圆角和柄舌配置, 从而将集中的应力均匀地分布在一个更大区域上, 由此减小峰值应力和改善 LCF 可能性。对于涡轮机的第三级, 该配置能将 92 个叶片和轮桩的峰值应力减小到 90 个的峰值应力。

如图 4 中的表面 14 所设定, 底部柄舌 24 的径向厚度是独特地定尺寸的, 使得在柄舌之间存在相等的负荷分布。这种硬度调整造成整

个杵树结构和轮桩的均匀应力分布，从而改善部件的 LCF 可能性并减小支承面上的峰值挤压应力。

在叶片杵树结构上的柄舌之间和轮桩上的内圆角已将尺寸做到减小峰值应力的出现，从而改善 LCF 可能性。

- 5 叶片杵树结构上顶部柄舌上方的内圆角包括一个复合的内圆角，从而将集中的应力分布在一个更大的区域上，因而降低峰值应力和改善 LCF 可能性。当该结构从接触面过渡到顶部密封凸耳中时，轮桩顶部包括一个椭圆曲线以进行该过渡。同样，当该结构从接触面过渡到底部密封凸耳中时，叶片杵树结构的底部包括一个椭圆曲线以完成该过渡。
- 10

- 图 10 和图 12 中所示的接触面的发散角 D (燕尾中心线的角度) 设定在 18.000 度，从而达到接触面上的挤压应力和相邻内圆角中的峰值应力之间的适当平衡。图 10 和 12 中也示出该结构每侧上的柄舌阵列的发散角 E 已设定在 25.780 度，使得已保持各种限度 (p/a 应力、挤压应力、峰值应力等) 之间的适当平衡。
- 15

- 图 9 和图 10 提供叶片的示范和优选的尺寸，而图 11 和图 12 提供这些叶片插入的拉削槽的示范和优选的尺寸。在所有情况中，相对于图 9~12 中所示的叶片和轮桩的优选的相对尺寸是这样的，就是该直线和曲线的各区段落入所定轮廓的 ± 0.001 英寸的偏移内。当然，该技术
- 20 专业的专业人员将认识到，超过这些容差范围的小变化将不会对本发明的实施产生有显著影响的冲击，因此应当考虑落在本发明的范围之内。例如，落在由轮廓偏移 ± 0.01 英寸限定的容差区内的一组结合的直线和曲线可以仍然满足本发明的意图。其次，叶片燕尾的侧面或跟中心线成镜象的拉削可以不同地分开而仍然落在该范围内。例如，图 9
- 25 中的尺寸 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 、 L_5 和 L_{10} 可以增减一个恒量，以变化该叶片燕尾的总宽度。

- 如图 9 中所示，表示柄舌压力面 202、205 和 208 相对于水平面的角度取向的角度 A 等于 50.000 度。第一柄舌 22 和第二内圆角 26 的角度 B 等于 52.940 度。示于图 10 的第二柄舌 23 和最低内圆角 27 的角度 F 等于 58.079 度。在本申请书中描述的所有角度测量中，待测量的角度是由沿该待测量的叶片或轮桩部分的外边界的切线确定的，或者
- 30 处在叶片或轮桩的中心线和一条由从至少两组上述相交的切线形成的

交点所限定的直线之间。

图 9 也表示, 上内圆角 25 的终线与通过该叶片的中心线 C 形成一个 90.000 度角, 如角度 C' 所示。在图 10 中, 角度 D 和 E 是从中心线 C 到沿第一和第二内圆角的切线相交处的点所限定的线测量到的。角度 D 和 E 分别为 18.000 度和 25.780 度。

图 9 表示 $L_1 \sim L_{13}$ 、 L_{29} 和 L_{31} 的各个尺寸关系, 它们确定形成该叶片的几何构型的柄舌和内圆角的相对位置。

L_1 为 1.0395 英寸而 L_2 为 0.5517 英寸, L_1 代表叶片距中心线 C 的最外距离或宽度, 而 L_2 代表从中心线到沿柄舌 22 的两侧形成的切线的交点的距离。 L_{29} 为 0.4096 英寸而限定从中心线 C 到沿柄舌 23 的两侧引出的切线的交点的距离。 L_{10} 为 0.2723 英寸而表示从中心线 C 到一条通过上述相对于柄舌 22 和 23 的交点引出的线与一条沿柄舌 24 的上直表面 208 的切线交点的距离。

$L_5 \sim L_8$ 分别表示从柄舌 24 的底部表面到内圆角 25 的最上笔直部分、沿柄舌 22 引出的各切线的交点、沿柄舌 23 引出的各切线的交点、以及一条通过上述相对于柄舌 22 和 23 的交点引出的线与一条沿柄舌 24 的上直表面 208 的切线的交点的距离。这些 $L_5 \sim L_8$ 的距离分别为 1.4530 英寸、0.8191 英寸、0.5249 英寸和 0.2407 英寸。

距离 L_{11} 、 L_{31} 表示从柄舌 24 的底部到从其限定柄舌 24 的弯曲部分的曲率半径的点的距离。 L_{12} 和 L_{13} 分别表示从柄舌 24 的底部到沿内圆角 27 引出的各切线的交点和沿内圆角 26 引出的各切线的交点的距离。 L_{11} 、 L_{31} 、 L_{12} 和 L_{13} 分别表示 0.2074 英寸、0.3360 英寸、0.4722 英寸和 0.7999 英寸。

尺寸 L_3 和 L_4 分别给出从中心线 C 到沿内圆角 27 的各切线的交点和沿内圆角 26 引出的各切线的交点的距离。

如上所述, 柄舌 24 是部分地由两条具有偏离中心线 C 两侧的中心点的径向曲线形成的 (形成柄舌 24 的第三条径向曲线具有在中心线 C 的中心点, 该中心点离柄舌 24 的底部的距离为 L_{31})。距离 L_9 表示离中心线 C 的右边和左边的偏移 (图 9 中只示出离中心线 C 右边的偏移), 而 L_9 为 0.0465 英寸。图 10 中示出的偏移半径为 R_1 、 R_1 为 0.1992 英寸。其中心点在中心线上的曲率半径在图 10 中示作 R_{13} 、 R_{13} 为 0.3360 英寸。

L_{27} 表示最上柄舌 22 的宽度, L_{27} 为 0.9261 英寸, 而 L_{28} 表示中间柄舌 23 的宽度, L_{28} 为 0.6916 英寸。

除了半径 R_1 和 R_{13} 外, 图 10 还表示半径 $R_2 \sim R_6$, 它们分别代表最低内圆角 27 的半径、中间柄舌 23 的半径、内圆角 26 的半径、最上柄舌 22 的半径和最上内圆角 25 的半径。这些半径 $R_2 \sim R_6$ 分别为 0.0695 英寸、0.0752 英寸、0.0656 英寸、0.0855 英寸、0.0718 英寸 (R_6') 和 0.3379 (R_6)。

曲线 227 使柄舌 24 与内圆角 37 结合, 它是一个椭圆半径, 其长半轴为 0.0222 英寸而短半轴为 0.0014 英寸。

如上所述, 图 11 和图 12 表示与相应的拉削槽有关的尺寸。在图 11 和图 12 中的角度 A、B、C' 和 D~F 的度量与图 9 和图 10 中互补角度 A、B、C' 和 D~F 相同。

图 11 表示 $L_{14} \sim L_{26}$ 、 L_{30} 和 L_{32} 的多个尺寸关系, 它们确定形成拉削槽几何构型的柄舌和内圆角的相对位置。

L_{14} 为 1.0395 英寸而 L_{15} 为 0.5565 英寸, L_{14} 代表轮桩离中心线 C 的最外距离或宽度, 而 L_{15} 代表从中心线 C 到沿内圆角 31 的任一侧形成的切线的交点的距离。 L_{30} 为 0.4144 英寸而表示从中心线 C 到沿内圆角 32 任一侧引出的各切线的交点的距离。 L_{23} 为 0.2722 英寸而表示从中心线 C 到一条通过上述相对于内圆角 31 和 32 的交点而引出的线与一条沿内圆角 33 的上直表面 221 的切线的交点的距离。

$L_{18} \sim L_{21}$ 分别表示从内圆角 33 的底部到柄舌 28 的最上笔直部分的距离、到沿内圆角 31 引出的切线的交点的距离、到沿内圆角 32 引出的切线的交点的距离、以及到一条通过上述相对于内圆角 31 和 32 的交点引出的线与一条沿内圆角 33 的上直表面 221 的切线的交点的距离。 $L_{18} \sim L_{21}$ 的距离分别是 1.4530 英寸、0.8193 英寸、0.5251 英寸和 0.2409 英寸。

距离 L_{24} 、 L_{32} 表示从内圆角 33 的底部到从其限定内圆角 33 的弯曲部分的曲率半径的那些点的距离。 L_{25} 和 L_{26} 分别表示从内圆角 33 的底部到沿柄舌 30 引出的切线的交点和沿柄舌 29 引出的切线的交点的距离。 L_{24} 、 L_{32} 、 L_{25} 和 L_{26} 分别为 0.2134 英寸、0.3420 英寸、0.4774 英寸和 0.8002 英寸。

尺寸 L_{16} 和 L_{17} 分别给出从中心线 C 到沿柄舌 30 的切线的交点和沿

柄舌 29 引出的切线的交点的距离。 L_{16} 和 L_{17} 分别为 0.0787 英寸和 0.1836 英寸。

内圆角 33 是由两条具有从中心线 C 的两侧偏移的中心点的径向曲线形成的，而一条第三径向曲线的中心点在中心线 C 上，中心点距内圆角 33 的底部的距离为 L_{32} 。图 12 中示出的偏移半径 R_7 为 0.2052 英寸。距离 L_{22} 表示对应于偏移径向曲线 R_7 的到中心线 C 的右边和左边的偏移（在图 11 中仅示出到中心线 C 的右边的偏移）， L_{22} 为 0.0465 英寸。其中心点在中心线上的曲线的半径在图 12 中示作 R_7 并为 0.3420 英寸。

除了半径 $R_7 \sim R_{7''}$ 外，图 12 还表示半径 $R_8 \sim R_{12}$ ，它们分别代表柄舌 30 的半径、内圆角 32 的半径、柄舌 29 的半径、最上内圆角 31 的半径和最上柄舌 28 的半径。这些半径 $R_8 \sim R_{12}$ 分别为 0.0695 英寸、0.0752 英寸、0.0656 英寸、0.0855 英寸和 0.3316 英寸。

曲线 215 使柄舌 28 与内圆角 31 结合，它是椭圆半径，长半轴为 0.0288 英寸，短半轴为 0.0045 英寸。

图 13 示意表示，叶片燕尾和轮拉削轮廓可以在容差范围内形成，如实线和虚线所示。例如，相对于叶片，其外尺寸可以从实线变为虚线内的形状。

在图 13 中，“A”代表使叶片燕尾或轮拉削轮廓精确界定的直线和曲线。“B”代表由“A”加上 ± 0.001 英寸的偏移所限定的区域，“B”包含满足优选实施例的轮廓变化。“C”代表由“A”加上 ± 0.01 英寸的偏移所限定的区域，“C”包含落入本发明范围的轮廓变化。

特别是，叶片和叶轮的所有尺寸均可比优选实施例给出的尺寸大或小。其次，叶片的两侧（以及相应的拉削槽）可以通过增减尺寸 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 、 L_9 、 L_{10} 而有不同的间隔，它们将对叶片形成不同的底部内圆角半径 227、211 和 212。同样，增减拉削槽的相应尺寸将形成不同的底部内圆角半径 228、224 和 225。

虽然本发明已描述了当前最实用的最优选的实施例，但可以理解，本发明不限于所公开的实施例，相反，它预期包括处在所附权利要求书的范围和精神内的各种修改和等同配置。

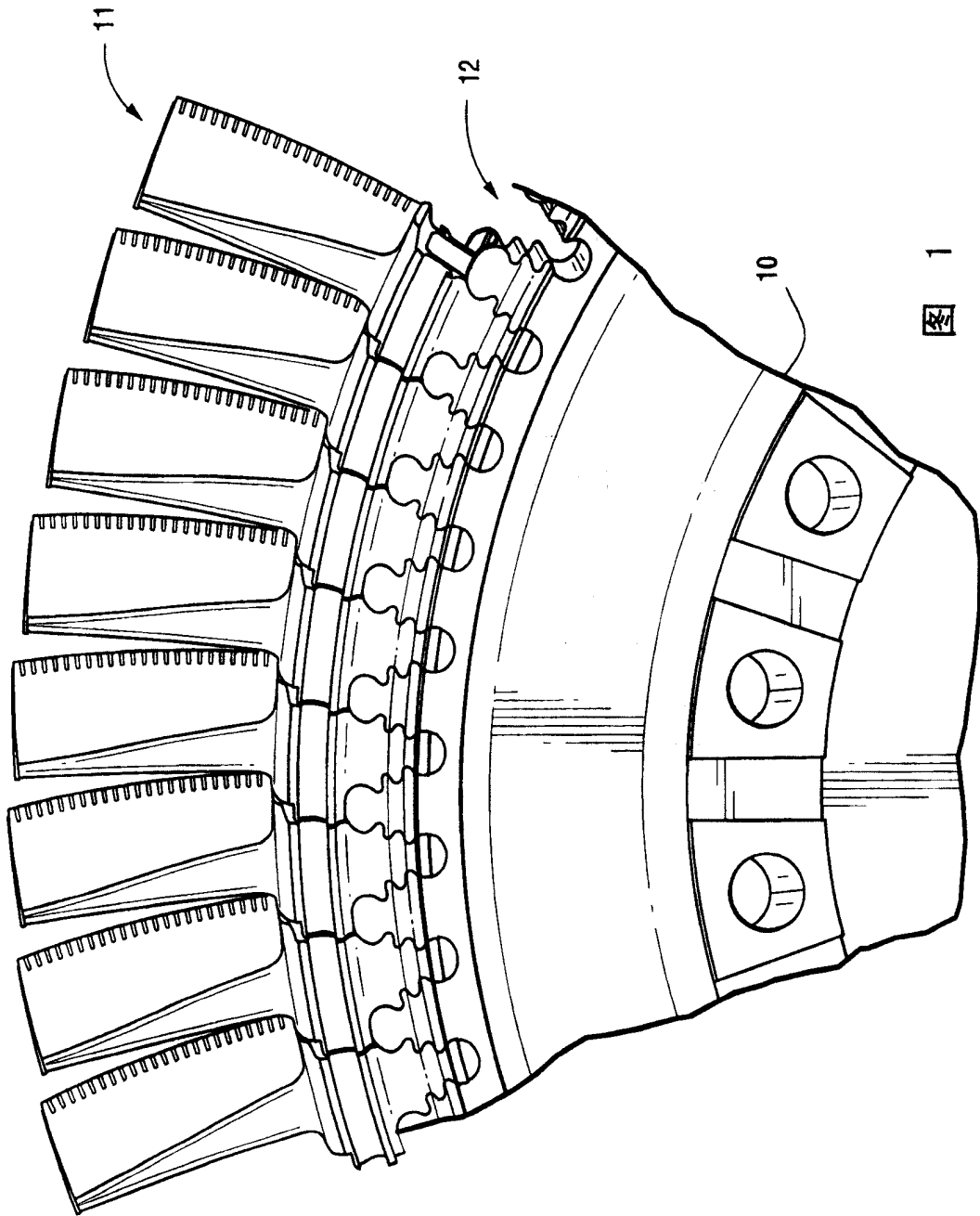


图 1

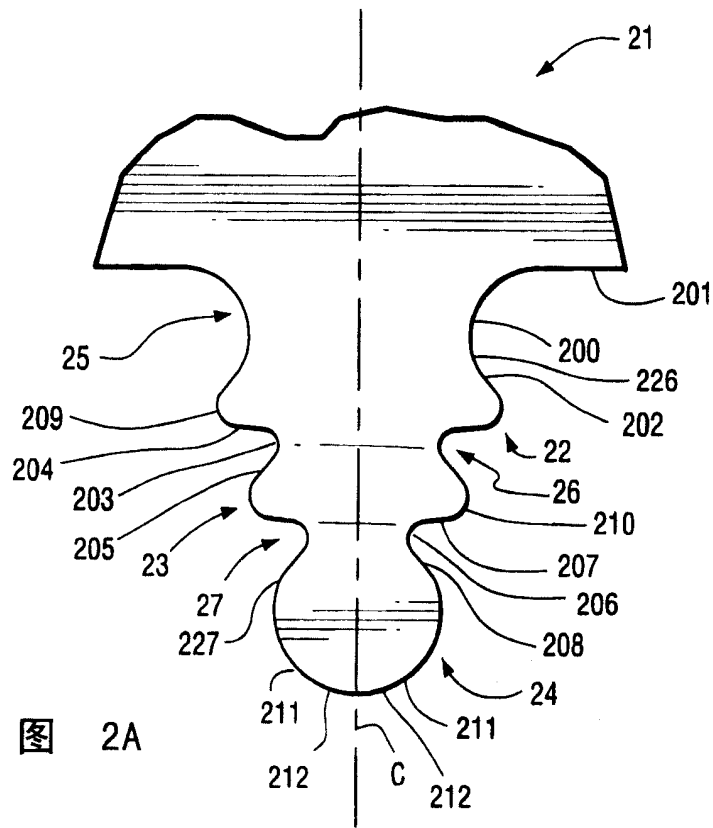


图 2A

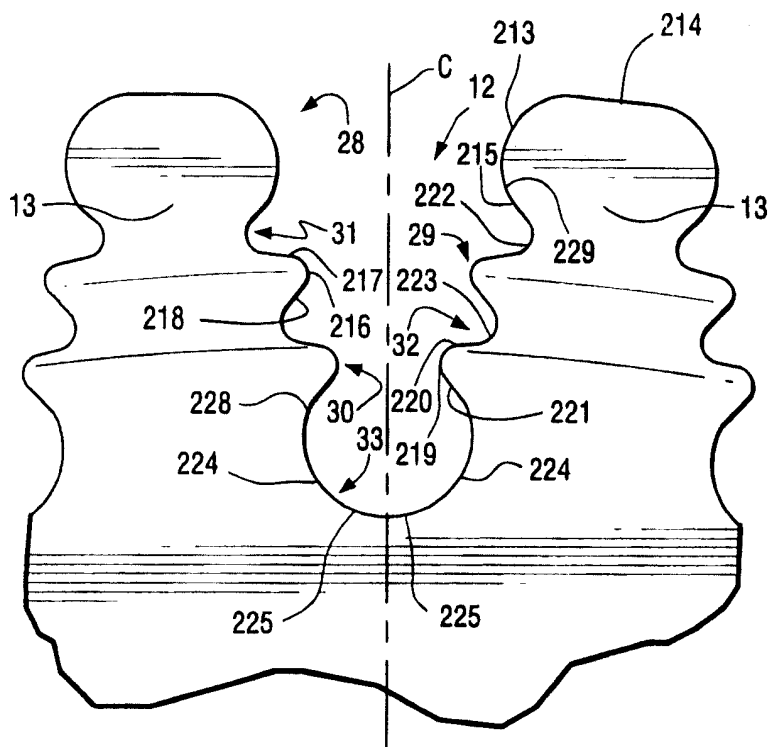


图 2B

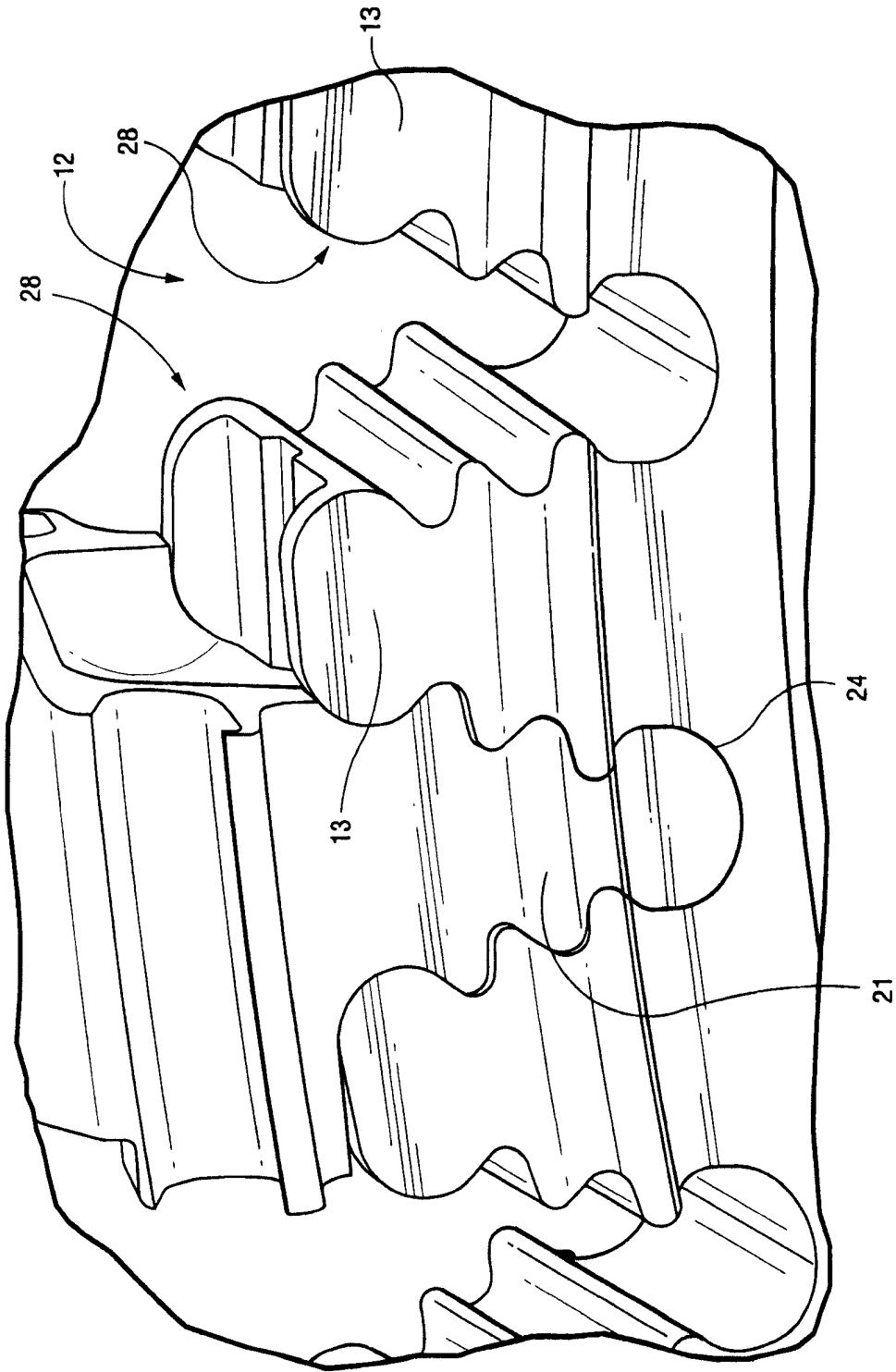


图 3

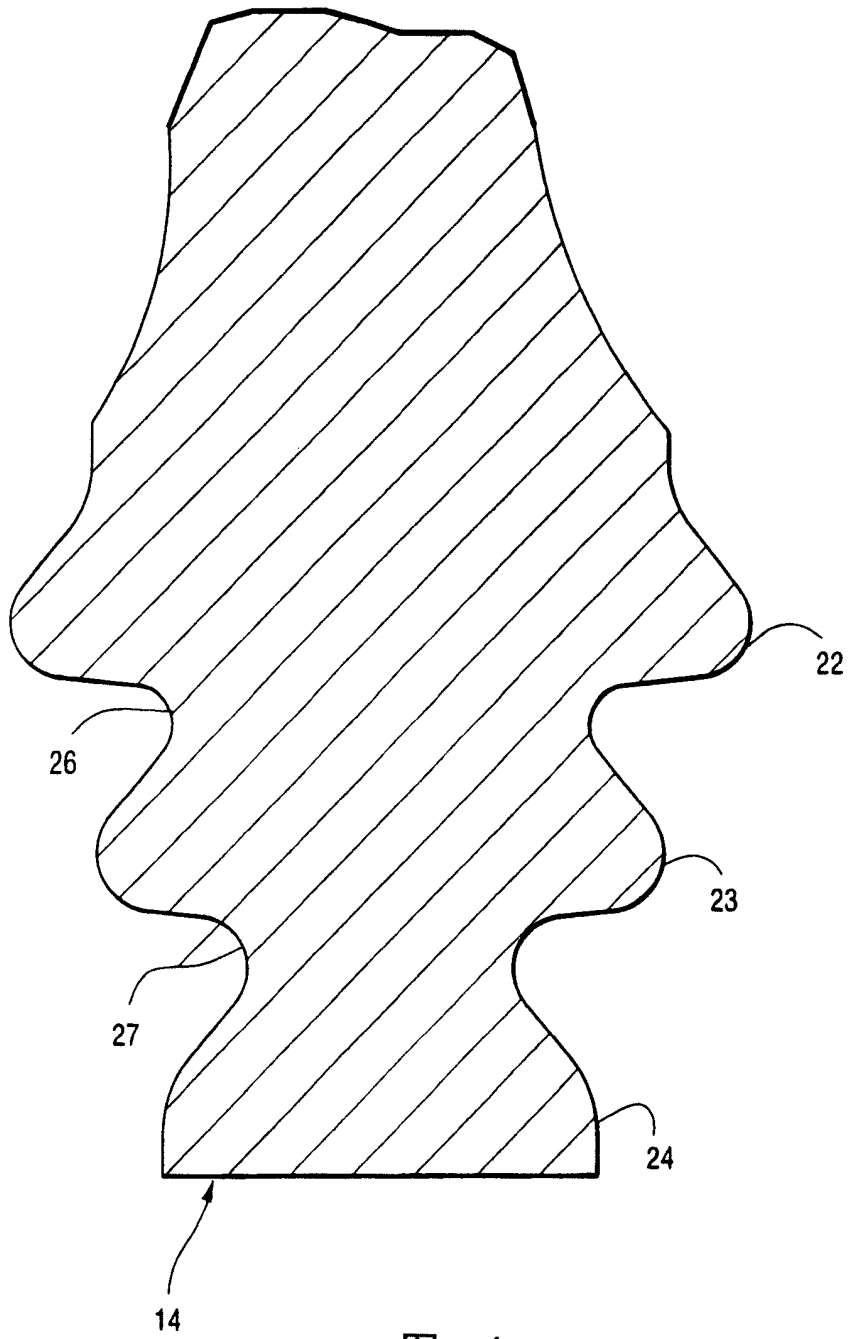


图 4

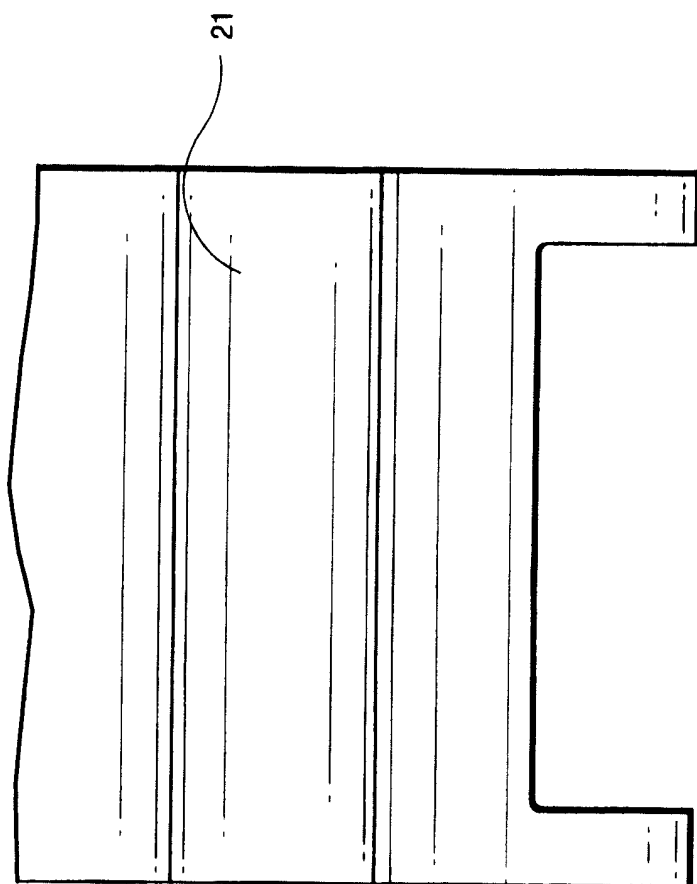


图 5

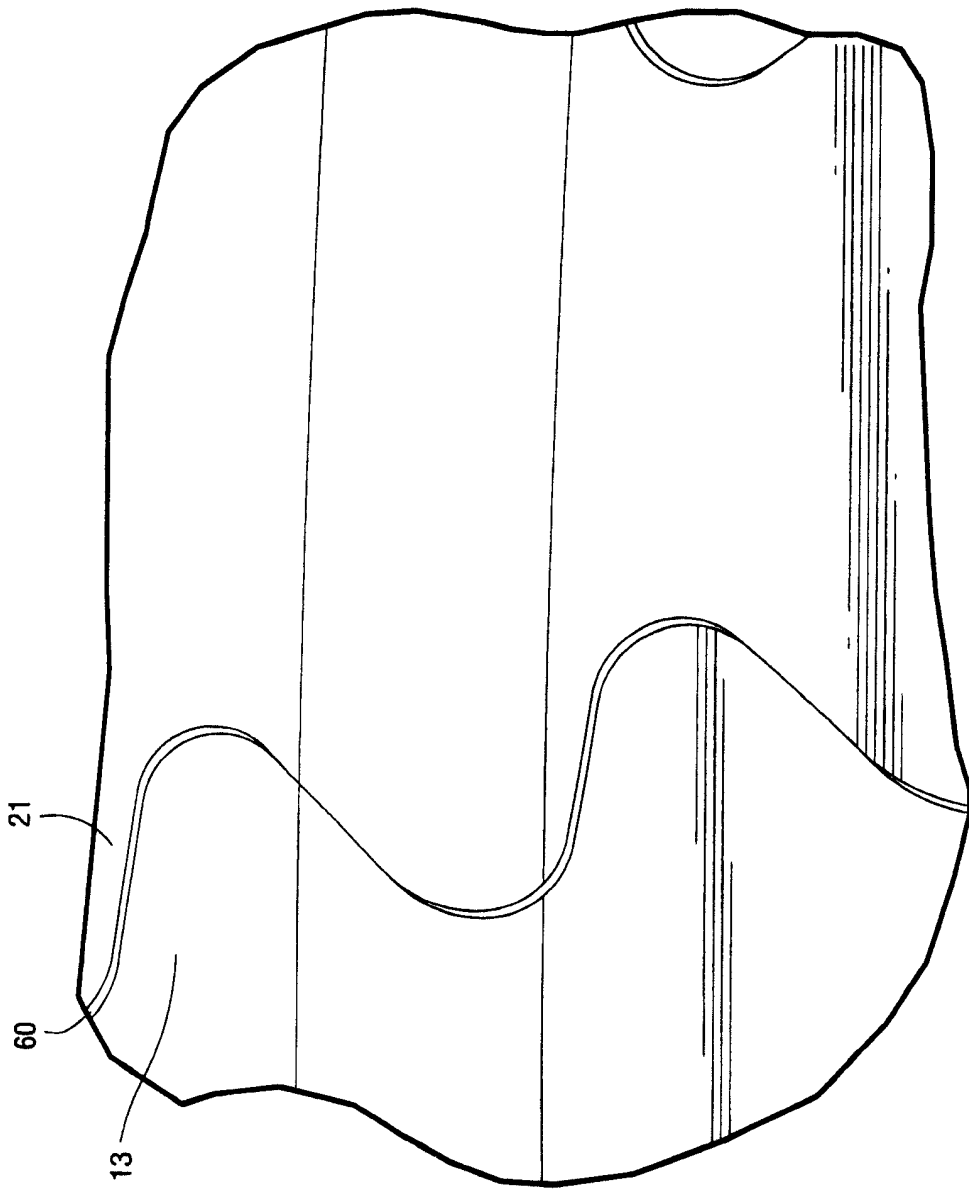


图 6

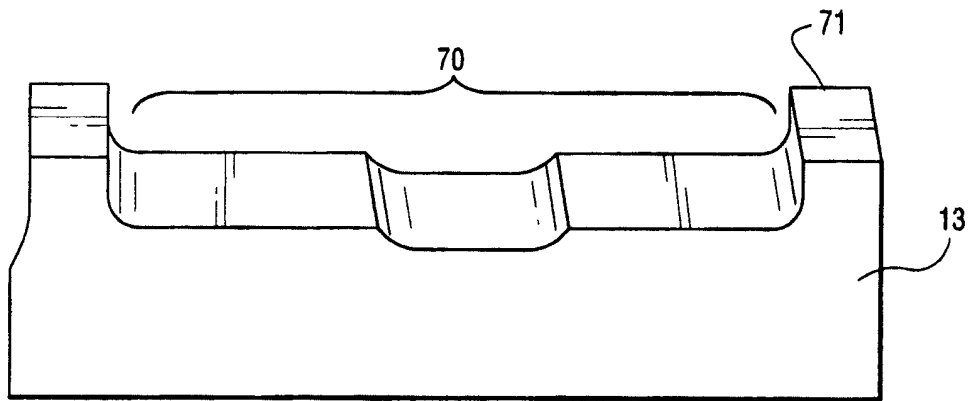


图 7

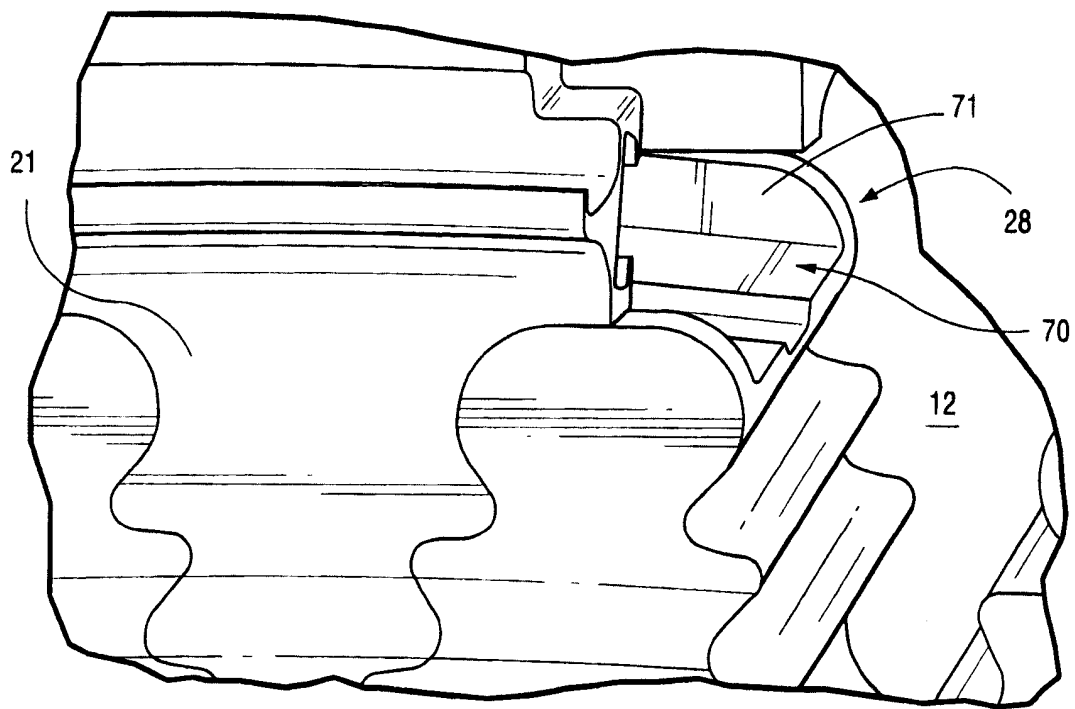


图 8

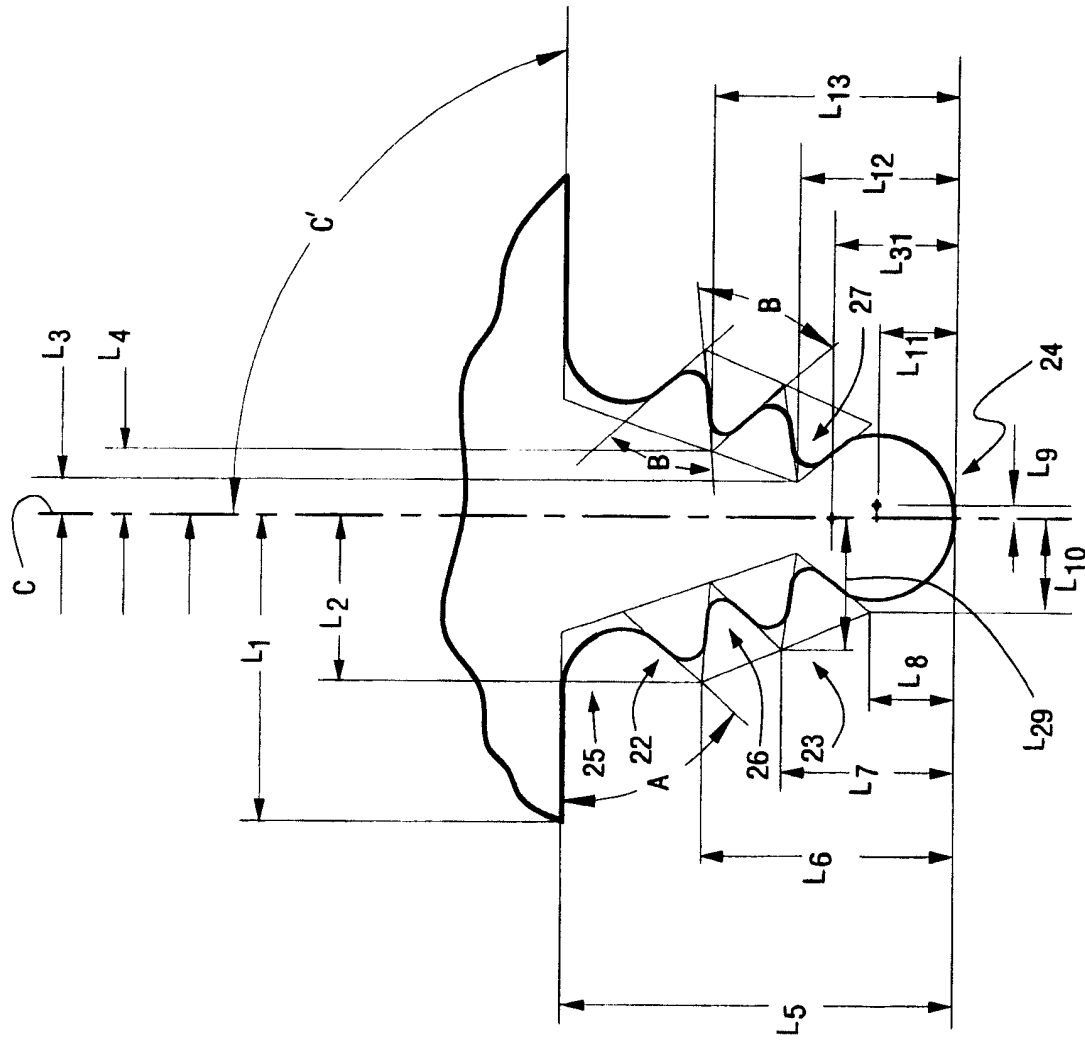


图 9

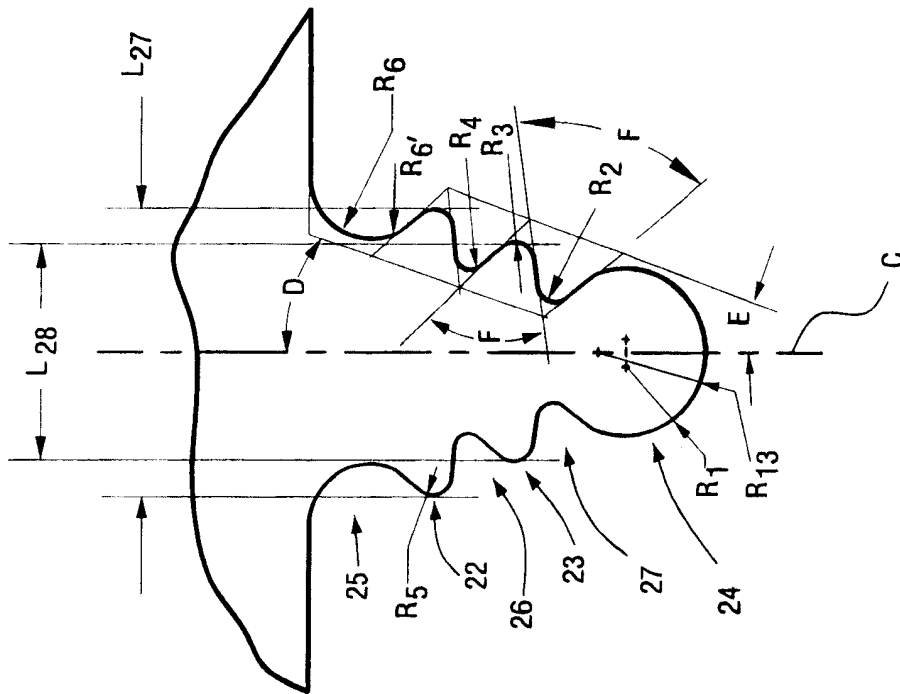


图 10

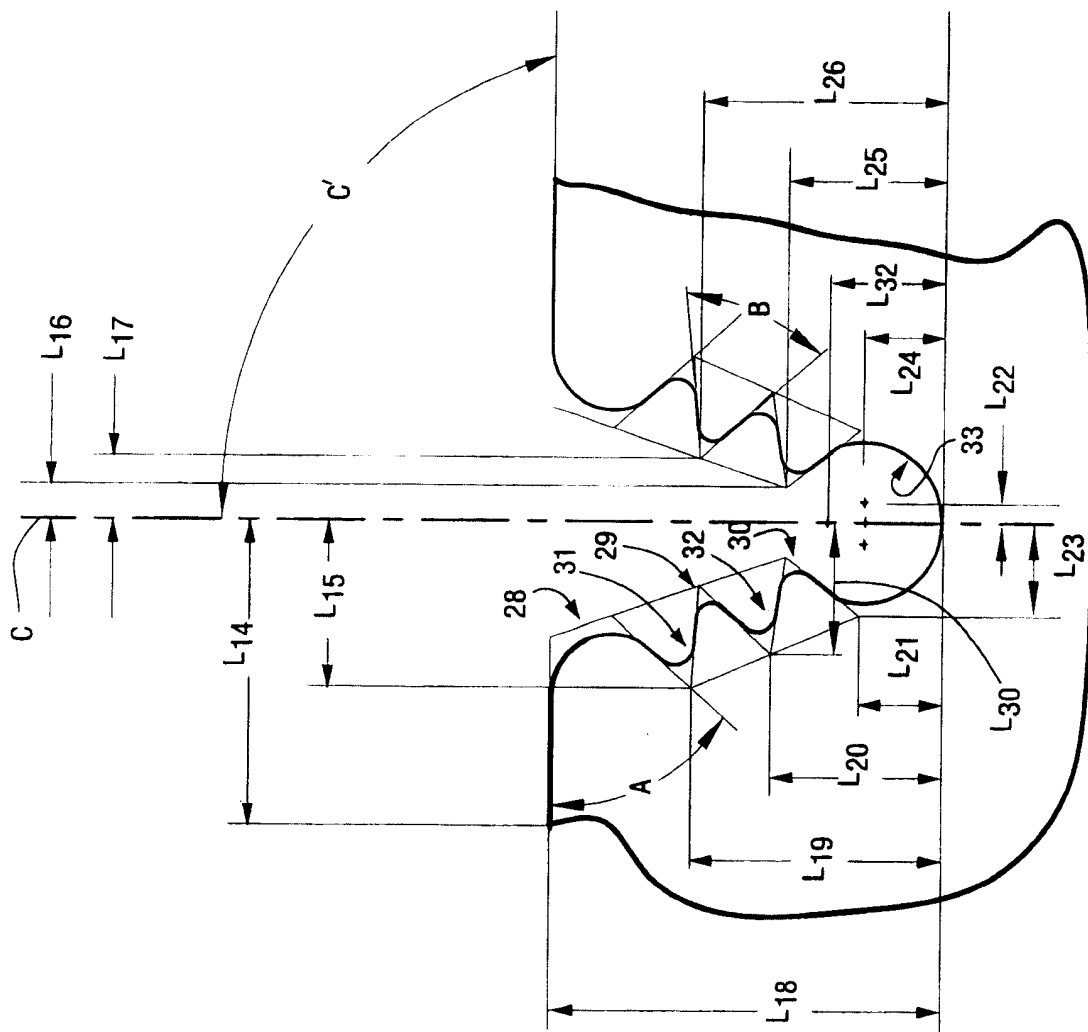


图 11

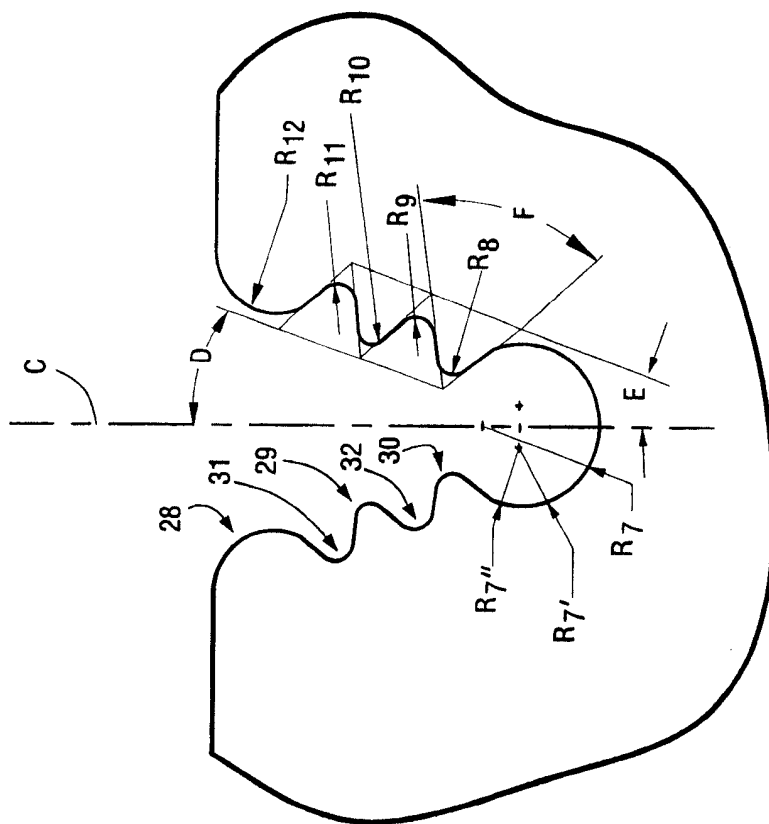


图 12

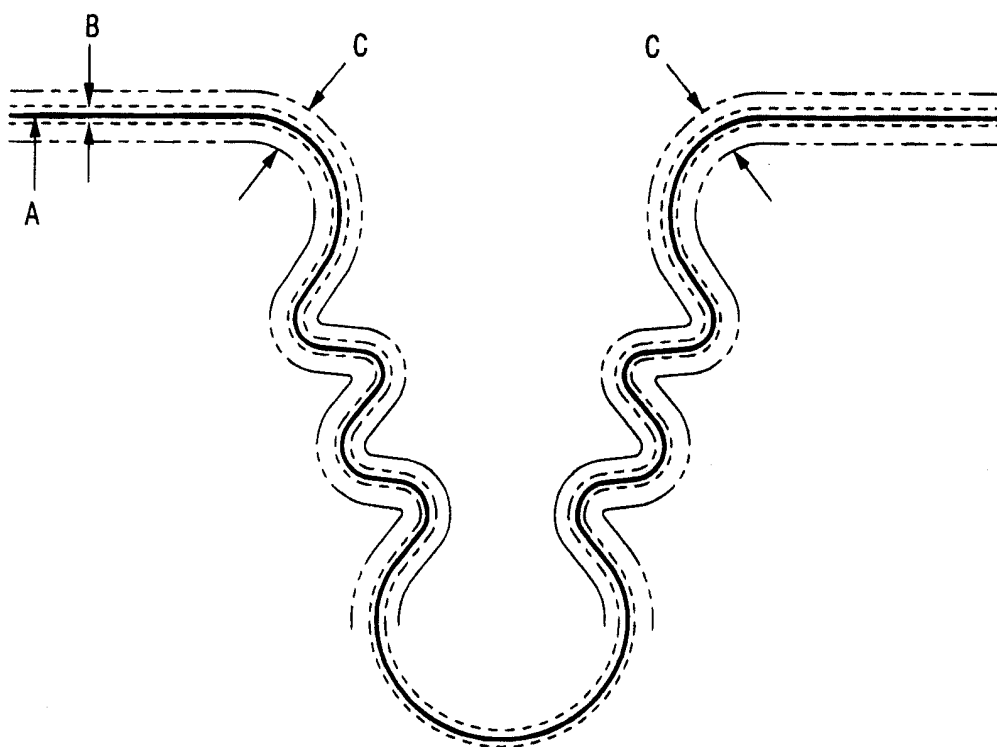


图 13