(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 101301691 B
(45)授权公告日 2011.06.15

(21)申请号 200810008536.2
(22)申请日 2008.01.23
(30)优先权数据
2007-126054 2007.05.10 JP
(73)专利权人 OSG 株式会社
地址 日本爱知县
(72)发明人 都筑清志
(74)专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所 11038
代理人 王会卿
(51)Int.Cl.
B23C 3/34(2006.01)
B23C 5/12(2006.01)
(56)对比文件
WO 01/96055 A1,2001.12.20, 全文.
US 2005/0086804 A1,2005.04.28, 全文.
CN 1496770 A,2004.05.19, 全文.
DE 19911927 A1,1999.10.07, 全文.
审查员 王锋

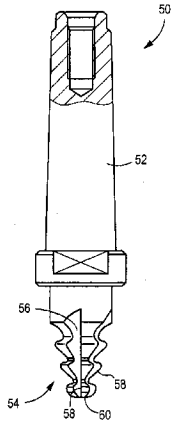
权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 9 页

(54)发明名称

沟槽加工方法和成形旋转切削工具

(57)摘要

本发明公开了一种沟槽加工方法和成形旋转切削工具。其中,在由粗加工成形旋转刀具(30)切削的粗切沟槽(44)的底面(43)上,设有由其端部切削边缘(40)切削的凹槽(42)。当精加工成形旋转切削工具(50)执行精加工步骤时,其端部切削边缘(60)不对底部进行精加工。因此,减小了由精加工成形旋转切削工具对粗切沟槽进行精加工所需的切削转矩,于是就能以增大的切削速度和进给速率高效地对沟槽进行加工,并将沟槽倾斜度保持在容许范围内。



CN 101301691 B

1. 一种采用粗加工成形旋转切削工具 (30) 和精加工成形旋转切削工具 (50) 在工件 (10 ;70) 中切削预定形状的沟槽 (64 ;72) 的沟槽加工方法，该沟槽加工方法包括 ：

(i) 粗加工步骤，用于在使粗加工成形旋转切削工具绕其轴线旋转的情况下，通过相对于工件在其轴线的垂直方向上移动粗加工成形旋转切削工具，而在工件中切削粗加工沟槽 (44 ;74) ；

(ii) 精加工步骤，用于在使精加工成形旋转切削工具绕其轴线旋转的情况下，通过相对于工件在其轴线的垂直方向上移动精加工成形旋转切削工具，而对工件中的粗加工沟槽 (44 ;74) 进行精加工，

其特征在于，在精加工步骤中，精加工成形旋转切削工具不对粗加工沟槽的底部 (43) 进行精加工。

2. 如权利要求 1 所述的沟槽加工方法，其特征在于，粗加工成形旋转切削工具 (30) 具有粗加工端部加工边缘 (40)，该粗加工端部加工边缘比精加工成形旋转切削工具 (50) 的精加工端部加工边缘 (60) 沿轴向突出更多，于是在粗加工步骤中在粗加工沟槽的底部上形成凹槽 (42 ;68)，以避免底部在精加工步骤中与精加工端部加工边缘接触。

3. 一种在工件中 (10 ;70) 切削预定形状的沟槽 (64 ;72) 的成形旋转切削工具组 (30, 50)，该成形旋转切削工具组包括 ：

(i) 粗加工成形旋转切削工具 (30)，用于在绕其轴线旋转的情况下，通过相对于工件在其轴线的垂直方向上移动，而在工件中切削粗加工沟槽 (44 ;74) ；

(ii) 精加工成形旋转切削工具 (50)，用于在绕其轴线旋转的情况下，通过相对于工件在其轴线的垂直方向上移动，而对工件中的粗加工沟槽 (44 ;74) 进行精加工，

其特征在于，粗加工成形旋转切削工具具有粗加工端部加工边缘 (40)，该粗加工端部加工边缘 (40) 比精加工成形旋转切削工具 (50) 的精加工端部加工边缘 (60) 沿轴向突出更多。

4. 一种粗加工成形旋转切削工具 (30)，其具有粗加工外周加工边缘 (38) 和粗加工端部加工边缘 (40)，并在绕其轴线旋转的情况下，相对于工件 (10 ;70) 在其轴线的垂直方向上移动，以对预定形状的粗加工沟槽 (22 ;44 ;74) 进行加工，

其特征在于，粗加工端部加工边缘 (40) 比用于对粗加工沟槽进行精加工的精加工成形旋转切削工具 (50) 的精加工端部加工边缘 (60) 沿轴向突出更多。

5. 如权利要求 4 所述的粗加工成形旋转切削工具 (30)，其特征在于，粗加工端部加工边缘 (40) 具有一突出部，该突出部沿轴向突出且位于精加工成形旋转切削工具 (50) 的精加工端部加工边缘 (60) 与精加工外周加工边缘 (58) 之间的边界 (Q) 内侧。

6. 如权利要求 5 所述的粗加工成形旋转切削工具 (30)，其特征在于，基于精加工端部切削边缘的目标位置 (P)，粗加工端部加工边缘 (40) 比精加工端部加工边缘 (60) 多突出的突出尺寸 (d) 被选择成大于精加工端部加工边缘的容许尺寸公差 (A) 并小于该容许尺寸公差和 0.1mm 之和。

7. 如权利要求 6 所述的粗加工成形旋转切削工具 (30)，其特征在于，粗加工外周加工边缘 (38) 具有凸部和凹部，凸部和凹部的头部直径朝着远离刀柄部的工具远端增减。

8. 如权利要求 7 所述的粗加工成形旋转切削工具 (30)，其特征在于，粗加工外周加工边缘 (38) 被构造成直径朝着远离刀柄部的工具远端减小，以切削具有倒置圣诞树形状的

树状沟槽。

沟槽加工方法和成形旋转切削工具

技术领域

[0001] 本发明涉及沟槽加工方法和成形旋转切削工具，尤其涉及用于减小对粗加工的沟槽进行精加工时所需的切削转矩的技术，从而高效地进行沟槽加工。

背景技术

[0002] 图 7 示出了将比如燃气轮机的涡轮机叶轮安装在旋转轴 10 上的配置。在该配置中，多个叶片 14 分别装配在形成于旋转轴 10 外周中的多个树状沟槽 12 中。图 8 是示出其中一个树状沟槽 12 的剖面放大图。正如在图 8 中清楚所示，沟槽 12 的剖面为倒置的圣诞树形状，其相对于其沟槽中心线 S 横向（左右方向）对称。在自外周面朝旋转轴 10 轴线的沟槽深度方向上，也即在图 8 的向下方向上，沟槽 12 的宽度平滑增 / 减地逐渐减小。在沟槽 12 的相对侧面 16a、16b 上，交替且连续地形成有多个凹进部 18 和多个突出部 20。

[0003] 为了在旋转轴 10 上加工也即切削树状沟槽 12，首先使用粗切削也即粗加工用的成形旋转切削工具执行粗加工步骤，以切削接近于树状沟槽 12 的粗加工沟槽或粗切削沟槽 22。粗加工用的成形旋转刀具（例如铣刀）也即粗加工成形旋转刀具在绕其轴线旋转的情况下在其轴线的垂直方向上移动。

[0004] 随后，使用精密切削也即精加工用的成形旋转切削工具执行精加工步骤，以去除作为精加工余量 (finishing stock)24 的表面层，从而对粗切削沟槽 22 进行精加工而获得目标树状沟槽 12。粗加工用的成形旋转刀具（例如铣刀）也即粗加工成形旋转刀具在绕其轴线在沟槽中旋转的情况下在其轴线的垂直方向上（与粗加工成形旋转刀具相同的方向）移动。JP-2000-326133A（日本专利申请特开平公报）披露了此种树状沟槽的加工方法。在所披露的沟槽加工方法中，粗切削沟槽 22 是采用粗加工成形旋转刀具切削的。

[0005] 不过，在上述传统的精加工步骤中，包括相对侧面和底面的粗切削沟槽的整个区域被切削作为精加工余量的预定量。较大的切削转矩（切削阻力）被施加在切削工具上，这会导致沟槽产生倾斜也即歪斜。这就使得难于通过增大切削速度和进给速率来高效地进行沟槽加工。

[0006] “倾斜的沟槽”或沟槽倾斜是沟槽的底侧在粗切削沟槽经受精加工步骤时在预定方向上倾斜的现象。也就是说，相对侧的一个和另一个分别在精加工时受到上切削和下切削，于是就产生不同的切削阻力大小。为此，如图 5 的虚线所示，沟槽的底侧朝着上切削侧（左侧）倾斜。这里，图 5 示出了自刀柄侧（图 5 中的上侧）观察的、通过顺时针旋转切削工具而形成沟槽时的状态，图中的树状沟槽以简化的方式示出。

[0007] 除了树状沟槽的加工外，在采用各种具有头部 (nose) 直径朝向工具远端变化的外周切削边缘的成形旋转切削工具加工沟槽时也存在上述问题。

发明内容

[0008] 本发明考虑到了上述讨论的情形，一个目的在于减小对粗切削沟槽进行精加工的精加工步骤中所需的切削转矩（切削阻力），从而在将沟槽倾斜度保持在容许范围内的情

况下增大切削速度和进给速率来高效地进行沟槽加工。

[0009] 本发明的第一方面提供了一种采用粗加工成形旋转切削工具和精加工成形旋转切削工具在工件中切削预定形状的沟槽的沟槽加工方法，该沟槽加工方法包括 (i) 粗加工步骤，用于在使粗加工成形旋转切削工具绕其轴线旋转的情况下，通过相对于工件在其轴线的垂直方向上移动粗加工成形旋转切削工具，而在工件中切削粗加工沟槽；(ii) 精加工步骤，用于在使精加工成形旋转切削工具绕其轴线旋转的情况下，通过相对于工件在其轴线的垂直方向上移动精加工成形旋转切削工具，而对工件中的粗加工沟槽进行精加工，其特征在于，在精加工步骤中，精加工成形旋转切削工具不对粗加工沟槽的底面进行精加工。

[0010] 具体说来，粗加工步骤中的粗加工区域与精加工步骤中的精加工区域之间的关系，也即粗加工成形旋转切削工具的切刀与精加工成形旋转切削工具的切刀之间的关系被选择成满足上述条件。

[0011] 根据本发明的第二方面，在第一方面中，粗加工成形旋转切削工具的粗加工端部加工边缘比精加工成形旋转切削工具的精加工端部加工边缘沿轴向突出更多，于是在粗加工步骤中在粗加工沟槽的底部也即底面上形成凹槽，以避免底部在精加工步骤中与精加工端部加工边缘接触。

[0012] 本发明的第三方面提供了一种在工件中切削预定形状的沟槽的成形旋转切削工具组，该成形旋转切削工具组包括 (i) 粗加工成形旋转切削工具，用于在绕其轴线旋转的情况下，通过相对于工件在其轴线的垂直方向上移动，而在工件中切削粗加工沟槽；(ii) 精加工成形旋转切削工具，用于在绕其轴线旋转的情况下，通过相对于工件在其轴线的垂直方向上移动，而对工件中的粗加工沟槽进行精加工，其特征在于，粗加工成形旋转切削工具的粗加工端部加工边缘也即切削边缘比精加工成形旋转切削工具的精加工端部加工边缘也即切削边缘沿轴向突出更多。

[0013] 粗加工端部切削边缘和精加工端部切削边缘的突出量是基于公共位置进行比较的，例如基于工件的精加工表面的目标位置或外周切削边缘上的最接近端部切削边缘的部分。

[0014] 本发明的第四方面提供了一种粗加工成形旋转切削工具，其具有粗加工外周加工边缘也即切削边缘和粗加工端部加工边缘也即切削边缘，并在绕其轴线旋转的情况下，相对于工件在其轴线的垂直方向上移动，以加工也即切削预定形状的粗加工沟槽，其特征在于，粗加工端部加工边缘比用于对粗加工沟槽进行精加工的精加工成形旋转切削工具的精加工端部加工边缘沿轴向突出更多。

[0015] 根据本发明的第五方面，在第四方面中，粗加工端部加工边缘具有一突出部，其沿轴向突出且位于精加工成形旋转切削工具的精加工端部加工边缘与精加工外周加工边缘之间的边界内。这里，突出部位于边界径向内侧。粗加工端部切削边缘的位置和精加工外周切削边缘与端部切削边缘之间边界的位置是在假定它们在空间中重叠的情况下或基于工件上的公共位置进行比较的。

[0016] 根据本发明的第六方面，在第四或第五方面中，基于精加工端部切削边缘的目标位置，粗加工端部加工边缘相比精加工端部加工边缘多突出的突出尺寸被选择成大于精加工端部加工边缘的容许尺寸公差并小于该容许尺寸公差和 0.1mm 之和。

[0017] 根据本发明的第七方面，在第四至第六方面的任一方面中，粗加工外周加工边缘

具有凸部和凹部，其头部直径朝工具远端增减。

[0018] 根据本发明的第八方面，在第七方面中，粗加工外周加工边缘被构造成直径朝工具远端减小，以切削具有倒置圣诞树形状的树状沟槽。

[0019] 在本发明第一方面限定的沟槽加工方法中，执行精加工步骤而不通过精加工成形旋转切削工具切削粗切沟槽的底面。精加工步骤中精加工粗切沟槽所需的切削转矩（切削阻力）减小，于是就在将沟槽倾斜度保持在容许范围内的情况下，以增大的切削速度和进给速率高效地进行沟槽加工。

[0020] 由本发明人所做的切削试验表明，该沟槽加工方法将切削转矩减小到对应于传统方法的约十分之一的大小，并将进给速率增大到对应于传统方法的约 7.5 倍的大小。因此，该沟槽加工方法显著地提高了精加工步骤中的效率。

[0021] 在本发明第二方面限定的沟槽加工方法中，粗加工成形旋转切削工具的粗加工端部切削边缘比精加工成形旋转切削工具的精加工端部切削边缘沿轴向突出更多。由粗加工成形旋转切削工具所切削的粗切沟槽在粗加工步骤中于其底面内形成凹槽，于是底面就不与精加工成形旋转切削工具接触。在该沟槽加工方法中，传统的精加工成形旋转切削工具可按照原样使用。

[0022] 粗加工端部切削边缘比精加工端部切削边缘沿轴向突出更多。这就增大了粗加工成形旋转切削工具的切削量（加工余量），由此增加了施加在其上的载荷。不过，这不会造成太大问题，因为粗加工步骤中要切削的余量大小本来就大。

[0023] 本发明的第三和第四方面涉及有利地用于本发明第二方面中的成形旋转切削工具组或粗加工成形旋转切削工具。它们提供了与本发明第二方面基本相同的技术优点。

[0024] 在本发明的第五方面中，粗加工端部切削边缘具有的突出部沿轴向突出且位于精加工端部切削边缘与精加工外周切削边缘之间的边界径向内侧。也就是说，粗加工端部切削边缘在其对应于整个精加工端部切削边缘的整个区域中沿轴向突出。精加工端部切削边缘并不切削粗切沟槽，这样就有效地减小了切削转矩。

[0025] 在本发明的第六方面中，粗加工端部切削边缘的突出尺寸 d 被选择成大于精加工端部切削边缘的容许尺寸公差 A。这种配置确保了不管精加工端部切削边缘的尺寸误差如何，粗加工端部切削边缘都比精加工端部切削边缘沿轴向突出更多。上述技术优点比如切削转矩的减小和切削效率的提高得以稳定不变地确保，这是因精加工端部切削边缘不切削而实现的。小于容许尺寸公差和 0.1mm 之和的突出距离 d 可将对沟槽底部尺寸（沟槽深度）的影响降到最小，并可适当地保持切有沟槽的工件的刚度。

[0026] 在本发明的第七方面中，粗加工外周切削边缘具有头部直径朝工具远端增减的凸部和凹部。在本发明的第八方面中，粗加工外周切削边缘被构造成头部直径朝工具远端减小以切削具有倒置圣诞树形状的树状沟槽。

[0027] 在通过第七和第八方面限定的粗加工成形旋转切削工具加工的沟槽中，凸部即突出部和凹部即凹进部形成在其两侧。接合体比如涡轮机叶轮与凹进部和突出部相接合，以相对于沟槽定位。由于沟槽底部留有间隙，沟槽底部尺寸（沟槽深度）比预定尺寸充分大得多，这意味着容许沟槽底部尺寸有较小偏差，该较小偏差由粗加工成形旋转切削端部边缘的突起产生。

[0028] 本发明有利地应用于本发明第七方面限定的情况，其中粗加工外周切削边缘具有

头部直径朝工具远端增减的凸部和凹部，或应用于本发明第八方面限定的情况，其中粗加工外周切削边缘被构造成头部直径朝工具远端减小，以切削具有倒置圣诞树形状的树状沟槽。

[0029] 不过，本发明可应用于其它成形旋转切削工具，比如锥形端铣刀，其具有的由外周切削边缘限定的头部直径沿轴向以恒定变化率改变，并可应用于使用该成形旋转切削工具的沟槽加工方法。在本发明的第七方面中，凹部可由小头部直径变化为大头部直径的外周切削边缘的一部分提供，而凸部可由大头部直径变化为小头部直径的外周切削边缘的一部分提供。

[0030] 现说明粗加工外周切削边缘和粗加工端部切削边缘以及精加工外周切削边缘和精加工端部切削边缘这些术语。它们仅用于区分粗加工成形旋转切削工具和精加工成形旋转切削工具的切削边缘。因此，要注意到，粗加工外周切削边缘和精加工外周切削边缘的形状不必不同，且粗加工端部切削边缘和精加工端部切削边缘的形状也不必不同。

[0031] 不过，正如在常规情况下，由于期望的性能不同，在排屑沟槽 (chip-evacuation groove) 的前角、后角以及螺旋角方面，用于粗加工的切削边缘与用于精加工的切削边缘之间存在差异。此外，用于粗加工的切削边缘可根据需要设置切口或波纹形状。

[0032] 粗加工成形旋转切削工具用于切削接近于理想的沟槽形状的粗切沟槽。使用单个粗加工成形旋转切削工具或多个成形旋转切削工具来切削粗切沟槽。当粗切沟槽以多个切削步骤切削时，本发明应用于用以在粗加工的最后步骤中切削粗切沟槽的底面的粗加工成形旋转切削工具。

[0033] 另一方面，精加工成形旋转切削工具用于通过以高尺寸精度将粗切沟槽的表面层切削预定的精加工余量大小 (例如，约 0.1-1.0mm) 从而切削成具有理想形状的沟槽，而对粗切沟槽进行精加工。

[0034] 在本发明第一方面的沟槽加工方法中，充分地执行精加工步骤，以便使得精加工成形旋转切削工具不会切削粗切沟槽的底面。粗加工端部切削边缘优选被构造成比精加工端部切削边缘沿轴向突出更多。由粗加工成形旋转切削工具切削的粗切沟槽在其底面形成有凹槽，从而在精加工步骤中不与精加工端部切削边缘接触。为此，精加工端部切削边缘可被构造成为凹形，或者省去。精加工步骤的执行优选地使得粗切沟槽的整个底面不会被精加工成形旋转切削工具切削。

[0035] 不过，对于粗切沟槽的底面，让其至少一部分不被精加工成形旋转切削工具切削就足够了。粗切沟槽的侧面的一部分可被包括在不被切削的那部分中。

[0036] 粗加工端部切削边缘比精加工端部切削边缘沿轴向突出更多，以在粗切沟槽的底面上形成凹槽。这样一来，在精加工步骤中，精加工端部切削边缘与粗切沟槽底面的接触就得以避免。在此情况下，传统的精加工成形旋转切削工具可用作本发明的精加工成形旋转切削工具。不过，精加工成形旋转切削工具可按照需要作各种改变。例如，精加工端部切削边缘被构造成具有大的凹角，以更可靠地避免与粗切沟槽的底面接触。

[0037] 当在粗加工步骤中垂直于轴线移动粗加工成形旋转切削工具时，可沿着直线或曲线移动。当在精加工步骤中垂直于轴线移动精加工成形旋转切削工具时，精加工成形旋转切削工具实际上沿着其伸长方向在粗切沟槽中移动。

[0038] 在本发明的第五方面中，粗加工端部切削边缘具有突出部，该突出部沿轴向突出

并位于精加工成形旋转切削工具的精加工端部切削边缘与精加工外周切削边缘之间的边界径向内侧。这么一来，精加工端部切削边缘就不在精加工端部切削边缘的整个区域中进行精加工。

[0039] 不过，当实施本发明的其它方面时，至少一部分精加工端部切削边缘充分地构造成不进行精加工。除了精加工端部切削边缘外，一部分精加工外周切削边缘可构造成不进行精加工。要被精加工端部切削边缘切削的切削区域和作为要被粗加工端部切削边缘切削的部分的粗切沟槽的底面基本一致，但不必完全一致。

[0040] 在本发明的第六方面中，基于精加工端部切削边缘的目标位置，粗加工端部切削边缘比精加工端部切削边缘多突出的轴向突出尺寸 d 选择成大于精加工端部切削边缘的容许尺寸公差 A 并小于该容许尺寸公差和 0.1mm 之和。不过，当实施本发明的其它方面时，突出尺寸可选择成大于容许尺寸公差和 0.1mm 之和，或选择成足够大而不用考虑尺寸公差。

附图说明

[0041] 在结合附图考虑时，通过阅读下面对本发明优选实施例的详细说明，本发明的上述和其它目的、特征、优点、技术和工业意义将得到更好的理解。

[0042] 图 1 是一组说明用于本发明沟槽切削方法的粗加工用圣诞树式刀具的视图，图 1A 是其正视图，图 1B 是粗切沟槽的剖面图，图 1C 是示出设于端部切削边缘上的凹角 θ1 的视图；

[0043] 图 2 是一组说明用于本发明沟槽切削方法的精加工用圣诞树式刀具的视图，图 2A 是其正视图，图 2B 是示出精加工步骤中的精加工余量的剖面图，图 2C 是示出图 2B 中部分 IIC 的放大图，图 2D 是说明由图 2A 刀具的端部切削边缘限定的凹角 θ2 的视图；

[0044] 图 3 是一组示出由图 1 和 2 的圣诞树式刀具切削的树状沟槽的视图，图 3A 是其和粗切沟槽的剖面图，图 3B 是示出图 3A 中部分 IIIB 的放大图；

[0045] 图 4 是一组示出用于检查通过本发明和传统技术的沟槽加工方法切削的树状沟槽的切削性能的试验结果的表，图 4A 示出了试验条件，图 4B 示出了试验结果；

[0046] 图 5 是说明“沟槽倾斜”的视图；

[0047] 图 6 是一组示出应用了本发明的沟槽加工方法的其它沟槽形状的视图，图 6A 是示出沟槽最终形状的剖面图，图 6B 是示出粗切沟槽和精加工余量大小的剖面图，图 6C 是示出图 6B 中部分 VIC 的放大图；

[0048] 图 7 是示出涡轮机叶轮的叶片要装入的多个树状沟槽的视图；

[0049] 图 8 是放大示出图 7 中的一个树状沟槽的剖面图；

[0050] 图 9 是示出切削图 8 的树状沟槽的过程中粗切沟槽和精加工步骤中的精加工余量大小的剖面图。

具体实施方式

[0051] 下面将参照附图对本发明的优选实施例作出说明。

[0052] < 实施例 >

[0053] 图 1 示出了粗加工用的圣诞树式刀具 30，图 2 示出了精加工用的圣诞树式刀具

50，两者都属于铣刀类型。两刀具 30 和 50 都用于切削图 8 的上述树状沟槽 12，且都隶属旋转刀具类型，也即，在绕其轴线旋转的情况下，相对于工件（旋转轴 10）在其轴线的垂直方向上移动。粗切用的圣诞树式刀具 30 有时称作“粗加工刀具”，对应于要求保护的粗加工成形旋转切削工具，用于形成粗切沟槽 22。

[0054] 在本实施例中，粗加工刀具 30 用于形成在其底面 43 上设有凹槽 42 的粗切沟槽 44。该粗加工刀具 30 单步或单行程地切削粗切沟槽 44。精加工用的圣诞树式刀具 50 有时称作“精加工刀具”，对应于要求保护的精加工成形旋转切削工具，具有与用于精加工上述树状沟槽 12 的传统精加工刀具相同的结构。

[0055] 图 1A 是从其轴线的垂直方向观察的、部分在剖面中示出的粗加工刀具 30 的正视图。图 1B 是由粗加工刀具 30 切削的粗切沟槽 44 的剖面图。粗加工刀具 30 包括互成一体的刀柄部 32 和刀片部 34。刀片部 34 具有对应于要由粗加工刀具 30 切削的粗切沟槽 44 结构的倒置圣诞树形状。刀片部 34 限定了在重复平滑增 / 减的情况下远离刀柄部 32 朝工具远端（图 1 的下端）减小的头部直径。

[0056] 刀片部 34 具有绕轴线等角排列的多个（例如，三个）排屑槽 (chip-evacuation flute)36。当粗加工刀具 30 在从刀柄部 32 一侧观察的情况下顺时针旋转时，沿着各个排屑槽 36，形成有多个外周切削边缘 38 和与之连续的端部切削边缘 40，它们协同用于执行切削作业。各个排屑槽 36 沿右手边螺旋方向扭曲一预定的螺旋角。

[0057] 外周切削边缘 38 对应于要求保护的粗加工外周切削边缘，限定了头部直径，该头部直径在平滑增减的情况下根据刀片部 34 的形状朝工具远端逐渐减小。各个外周切削边缘 38 由粗加工切削边缘构成，在该粗加工切削边缘中，微小的波状突起和凹槽连续地形成在齿根面上。在本实施例中，整个外周切削边缘 38 对应于要求保护的凸 / 凹部，所述凸 / 凹部的头部直径沿轴向平滑增减。端部切削边缘 40 对应于要求保护的粗加工端部切削边缘，被设置成朝工具远端突出以有效地切削上述凹槽 42。

[0058] 图 1C 是放大示出了粗加工刀具 30 旋转时由外周切削边缘 38 和端部切削边缘 40 形成的轨迹的视图。正如从图 1C 中清楚看到，端部切削边缘 40 的外周比外周切削边缘 38 的内周多突出高度 h 以在其间形成台阶 39。端部切削边缘 40 在其中心部以 Q 为起点凹进，以形成预定凹角 θ1。

[0059] 图 2A 是从其轴线的垂直方向观察的部分在剖面中示出的精加工刀具 50 的正视图。图 2B 是示出在由精加工刀具 50 精加工粗切沟槽 44 的精加工步骤中要去除的精加工余量 62 的剖面图。图 2C 是示出图 2B 中部分 IIC 的放大图。精加工刀具 50 包括互成一体的刀柄部 52 和刀片部 54。刀片部 54 具有对应于由精加工刀具 50 切削的沟槽 12 结构的倒置圣诞树形状。刀片部 54 限定了在重复平滑增 / 减的情况下远离刀柄部 52 朝工具远端（图 1 的下端）总体上减小的头部直径。

[0060] 刀片部 54 具有绕轴线等角排列的多个（例如，四个）排屑槽 56。沿着各个排屑槽 56，形成多个外周切削边缘 58 和与之连续的端部切削边缘 60。当粗加工刀具 30 在从刀柄部 32 观察的情况下顺时针旋转时，外周切削边缘 58 和端部切削边缘 60 协作用于执行切削操作。各个排屑槽 56 线性地延伸，换句话说，由线性沟槽组成。

[0061] 外周切削边缘 58 对应于要求保护的精加工外周切削边缘，限定了头部直径，该头部直径在平滑增减的情况下根据刀片部 54 的形状朝工具远端逐渐减小。外周切削边缘 58

整体上具有凸/凹结构。要被外周切削边缘58切削的精加工余量62例如为0.1mm-1.0mm。正如从图2C中清楚看到，端部切削边缘60（对应于要求保护的精加工端部切削边缘）被构造成不在形成凹槽42的部分处对粗切沟槽44进行精加工切削。

[0062] 在图2C中，参考符号“P”表示设计的目标位置，也即精加工表面上的目标位置。切削凹槽42的粗加工刀具30的上述端部切削边缘40被布置成自参考位置P沿轴向突出一个不小于端部切削边缘60的容许尺寸公差A的突出量。例如，距目标位置P的突出距离d被设定成大于容许尺寸公差A并小于该容许尺寸公差A和0.1mm之和（$A < d \leq (A+0.1)$）。例如，在容许尺寸公差A为0.05mm时，突出距离d优选被设定成大于0.05mm并小于0.15mm。

[0063] 在精加工刀具50的端部切削边缘60的整个区域中，也即在外周切削边缘58与端部切削边缘60之间的边界Q径向内侧的整个区域中，端部切削边缘40比端部切削边缘60沿轴向突出更多。由于端部切削边缘40形成的凹槽42的存在，精加工端部切削边缘60得以避免与粗切沟槽44的底面接触。在示出切削结构的图2C中，给对应于外周切削边缘58与端部切削边缘60之间的边界Q的位置加上相同符号Q。

[0064] 图2D是放大示出了精加工刀具50旋转时由外周切削边缘58和端部切削边缘60形成的轨迹的视图。正如在图2D中清楚看到，端部切削边缘60在其中心部以Q为起点凹进以形成预定凹角 θ2。

[0065] 凹角 θ2的大小可与传统精加工刀具的相同。也就是说，传统精加工刀具可按照原样使用，而不用作任何改变。不过，要注意的是，该端部切削边缘60不起切削工件的作用。就此看来，凹角 θ2的大小可设定成大于端部切削边缘40的凹角 θ1，或大于传统精加工刀具的凹角，以更可靠地防止其与凹槽42的底部接触。

[0066] 图3是采用上述粗加工刀具30和精加工刀具50切削的树状沟槽64的剖面图。沟槽64的结构与上述树状沟槽12基本相同。正如在上述沟槽12中，在各个相对侧面66a和66b上，多个凹进部18和突出部20相对于中心线S对称地交替又连续地形成。不过，沟槽64区别于上述沟槽12的地方在于，其底面中设有极浅的凹槽68。

[0067] 该浅凹槽68源自于由粗加工端部切削边缘40形成的上述凹槽42，且深度随端部切削边缘60的容许尺寸公差A而改变。它的范围为从突出距离d减去容许尺寸公差A得到的余数到突出距离d加上容许尺寸公差A得到的和。图3B是示出图3A中部分IIIB的放大图。

[0068] 图4是示出了用于测试本发明和传统技术的沟槽切削方法的切削性能的试验条件和试验结果的图表。在本发明的切削方法中，采用如上所述构造的粗加工刀具30和精加工刀具50切削树状沟槽64。在传统的切削方法中，在粗加工步骤和精加工步骤中均切削沟槽底部的情况下，对树状沟槽12进行加工，如图9所示。

[0069] 图4A（表A）表示了本发明切削方法中所采用的切削条件。在“刀具的直径”栏或刀具直径中，最大直径指在最接近刀柄部32或52的一个径向凸部（对应于沟槽的凹进部18）处测量的直径。最小直径指在最接近工具远端的一个径向凹部（对应于沟槽的突出部20）测量的直径。在外周的精加工余量的大小为0.3mm，正如最下栏“精加工余量”中表示的那样。这意味着，精加工刀具50的直径比粗加工刀具30的直径大0.6mm。

[0070] 此外，在“沟槽的深度”栏或沟槽深度，是指由粗加工刀具30和精加工刀具50两者形成的切削部的实际深度。精加工刀具50的实际切削深度比粗加工刀具30小了对应于

上述突出距离 d(在本实施例中为 0.1mm) 的量。

[0071] 传统沟槽加工方法中使用的精加工刀具与上述精加工刀具 50 相同。与此同时,传统沟槽加工方法中使用的粗加工刀具与上述粗加工刀具 30 的区别之处在于,端部切削边缘并不沿轴向突出。在传统技术中,沟槽的底面由精加工刀具 50 的端部切削边缘精加工 0.3mm 的精加工余量。传统方法中的其它试验条件比如所用工件的材料与本方法中的相同。

[0072] 图 4B(表 B) 示出了本方法和传统方法中精加工刀具 50 执行的精加工步骤中的试验结果。“振动”、“切削噪音”以及“精加工表面”与切削性能有关。“振动”指的是整机的振动量。“切削噪音”指质量和音量,“精加工表面”指加工表面的表面状态。所有这些都是通过试验执行者的感觉来评估的。“切削转矩”指的是切削过程中驱动和旋转精加工刀具 50 所需的马达转矩的最大值。

[0073] 如图 5 所示,“沟槽的倾斜度”或沟槽倾斜度指的是精加工的树状沟槽 64 或 12 最小直径部的偏差尺寸 ΔX_1、ΔX_2 的平均值。在本实施例中,“沟槽的倾斜度”的极限值或容许最大值被选定为 0.05mm。顺便要说的是,在示意性地示出树状沟槽 64 或 12 的图 5 中,侧面被示出为略去其宽度方向上的变化的简单倾斜面。

[0074] 正如从示出试验结果的图 4B 中清楚看到,本发明提供了下列效果。当由精加工刀具 50 执行精加工步骤时,在通过本发明的粗加工刀具 30 形成粗切沟槽 44 之后,精加工步骤中所需的切削转矩减小到对应于传统切削方法的约十分之一以下的值。沟槽倾斜度保持在容许范围内。切削速度可以是传统方法的至少两倍大,且进给速率可以是传统方法的约 7.5(= 180/24) 倍大。

[0075] 在本发明采用粗加工刀具 30 的沟槽加工方法中,凹槽 42 在粗加工步骤中形成于粗切沟槽 44 的底部内。因此,精加工过程中的精加工刀具 50 无需用端部切削边缘 60 执行精加工过程。因此,减小了精加工步骤所需的切削转矩,于是增大了切削速度和进给速率,从而提高了加工效率,将沟槽倾斜度保持在容许范围内。

[0076] 此,在本实施例中,粗加工刀具 30 的端部切削边缘 40 比精加工刀具 50 的端部切削边缘 60 沿轴向突出更多。因此,粗切沟槽 44 通过粗加工刀具 30 在其底面设有凹槽 42,这就有效地避免了底面与精加工刀具 50 的端部切削边缘 60 的接触。因为粗切沟槽 44 的底面 43 不经受精加工刀具 50 的精加工步骤,就可将传统的用于精加工的圣诞树式刀具用作精加工刀具 50。

[0077] 粗加工刀具 30 的切削量大于精加工刀具 50,因为粗加工端部切削边缘 40 比精加工端部切削边缘 60 沿轴向突出更多。因此,切削时施加在粗加工刀具 30 上的载荷可能较大。不过,粗加工刀具 30 基本上不受该较大载荷的影响,因为它被设计成以大切削量在单个切削步骤中切削粗切沟槽 44。

[0078] 此外,在本实施例中,在对应于精加工刀具 50 的整个端部切削边缘 60 的区域中,也即,在位于外周切削边缘 58 与端部切削边缘 60 之间的边界 Q 径向内侧的区域中,粗加工刀具 30 的端部切削边缘 40 沿轴向突出。因此,精加工端部切削边缘 60 无需在其整个区域中进行切削,于是就可有效地减小所需的切削转矩。

[0079] 另外,粗加工端部切削边缘 40 的突出距离 d 被选择成大于精加工端部切削边缘 60 的容许尺寸公差 A。这种配置确保了不管精加工端部切削边缘 60 的尺寸误差如何,粗加工端部切削边缘 40 都比精加工端部切削边缘 60 沿轴向突出更多。因不需要或省去了精加工

端部切削边缘 60 的切削，就能够稳定不变地确保上述技术效果，比如切削转矩的减小和切削效率的提高。

[0080] 这里，要注意的是，突出距离 d 被选择成小于尺寸公差 A 和 0.1mm 之和，这就抑制了对沟槽底部尺寸（沟槽深度）的影响，且形成树状沟槽 64 的旋转轴 10 的强度得以适当地保持。

[0081] 在本实施例中，切削方法切削在其侧面 66a 和 66b 设有凹进部 18 和突出部 20 的倒置圣诞树状沟槽 64。涡轮机叶轮的要与树状沟槽 64 接合的叶片 14 被这些凹进部 18 和突出部 20 限制（定位）。这里，由于沟槽底部留有间隙（位于接合的叶片 14 与树状沟槽 64 的底面之间），所以沟槽底部尺寸（沟槽深度）被充分地选择成大于预定尺寸，且可根据粗加工端部切削边缘 40 的突出情况而具有稍微较大的值。

[0082] 在上述实施例中，说明了在旋转轴 10 中切削倒置圣诞树状沟槽 64 的情况。不过，本发明的原理可应用于其它沟槽形状的加工。图 6 是一组示出本发明另一实施例的视图。图 6A 是示出在工件 70 中形成的瓶状沟槽 72 的最终形状的剖面图，图 6B 是示出粗切沟槽 74 和精加工余量 76 的剖面图。粗切沟槽 74 由粗加工成形旋转刀具切削，而精加工余量 76 由精加工成形旋转刀具在精加工步骤中去除。图 6C 是示出图 6B 中部分 VIC 的放大图。

[0083] 沟槽 72 在其底部附近具有鼓凸部 80，在该鼓凸部 80 内，沟槽宽度以弓形逐渐平滑地增加。对应于鼓凸部 80 的结构，用于切削沟槽 72 的粗加工成形旋转刀具和精加工成形旋转刀具具有其中外周刀片的头部直径鼓凸的凸部 / 凹部。

[0084] 粗加工成形旋转刀具的端部切削边缘（粗加工端部切削边缘）在精加工成形旋转刀具的端部切削边缘（精加工端部切削边缘）的整个区域中比精加工端部切削边缘沿轴向突出了突出尺寸 d。换句话说，粗加工端部切削边缘可以表达为位于外周切削边缘与端部切削边缘之间的边界 Q 径向内侧的部分。因此，由粗加工端部切削边缘在粗切沟槽 74 的底面内形成凹槽 82。

[0085] 这样一来，就避免了精加工端部切削边缘与粗切沟槽 74 的底面接触。这样，就能获得与上述实施例相同的操作和效果，比如在精加工步骤中减小切削转矩和提高切削效率。

[0086] 至此已参照附图对本发明的优选实施例作出了说明。要理解的是，本发明不局限于所述实施例的细节，而是可基于本领域技术人员的知识以各种改变、改型以及改进予以实施，而不脱离本发明的精神和范围。

图1A

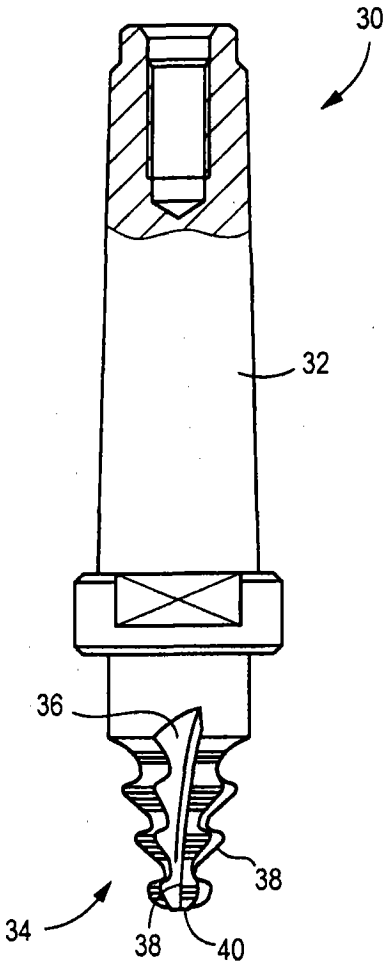


图1B

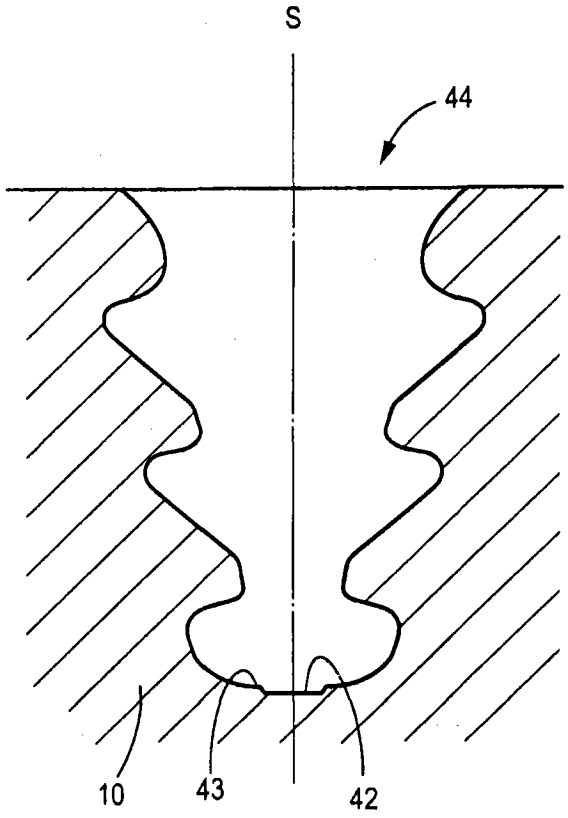


图1C

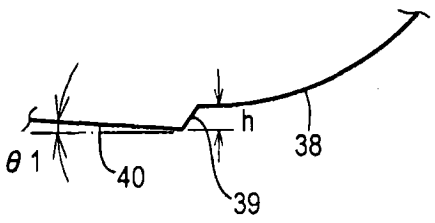


图2A

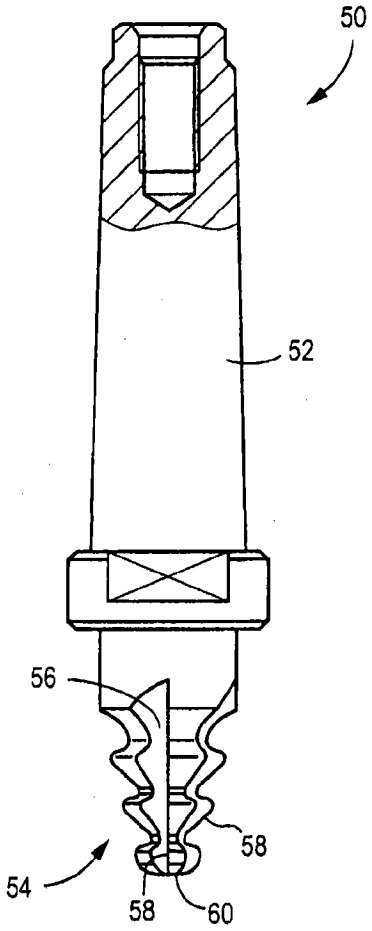


图2B

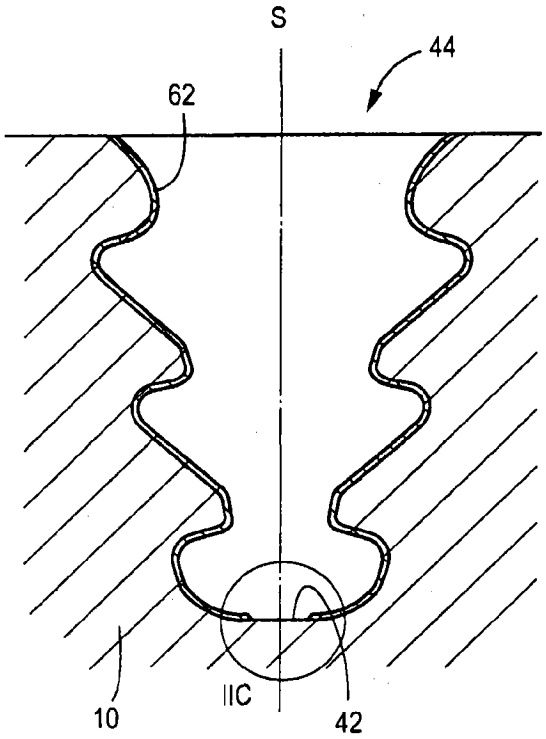


图2C

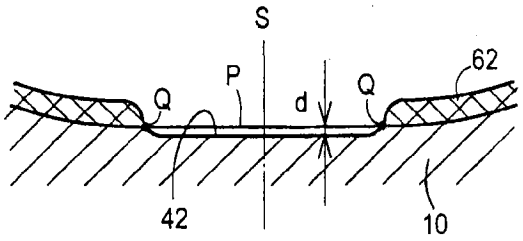


图2D

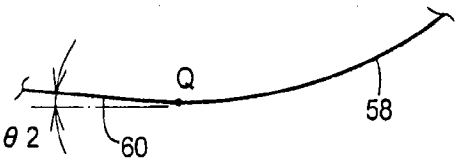


图3A

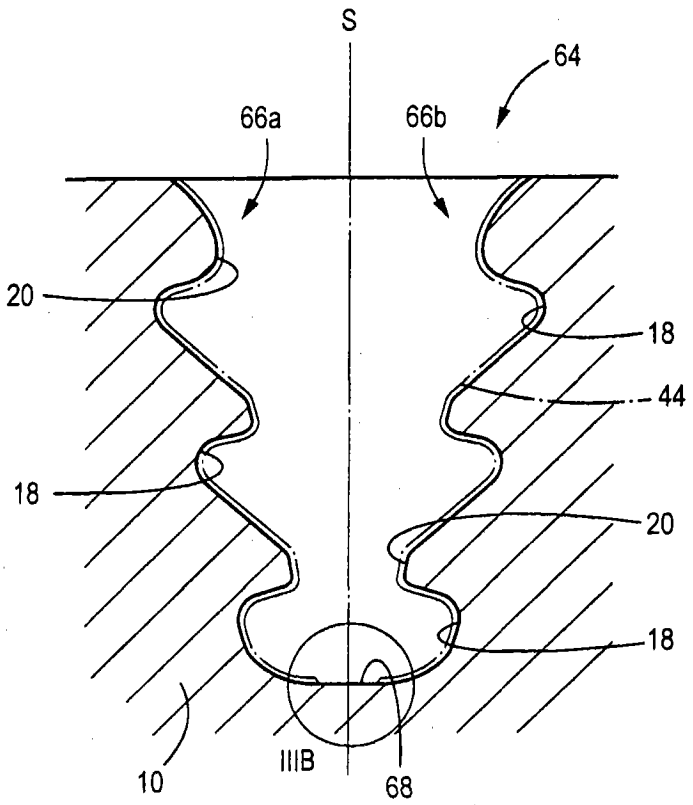


图3B

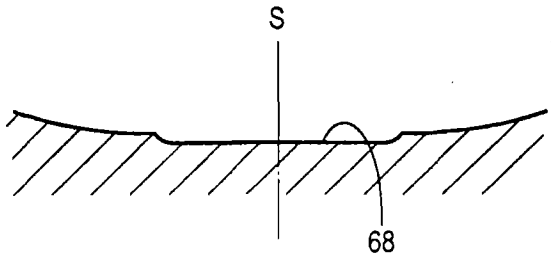


图4A

表 A（试验条件）

刀具直径	最大直径：约 ϕ21mm 最小直径：约 ϕ6.5mm
工件材料	SNCN439（90HRB）
切削流体	水溶性冷却剂
机器	水平加工中心
切削速度（外周速度）	见表 B
进给速率	见表 B
沟槽深度	27.5mm（粗加工） 27.4mm（精加工）
精加工余量	在外周为 0.3mm 在精加工端部切削边缘有 0.1mm 间隙

图4B

表 B（试验结果）

	本发明方法		传统方法
切削方法	在精加工中，端部切削边缘与沟槽底部无接触		在粗加工和精加工中，端部切削边缘与沟槽底部接触
切削速度	50m/min	60m/min	25m/min
进给速率	150mm/min	180mm/min	24m/min
切削转矩(切削转矩减小性能)	0.4kN （优良）	0.4kN （优良）	4.5kN （中等）
振动	良好	良好	良好
切削噪音	良好	良好	良好
精加工表面	良好	良好	良好
沟槽倾斜度 ϕ6.5（最小直径）	0.005mm （优良）	0.02mm （良好）	0.05mm （中等）

图5

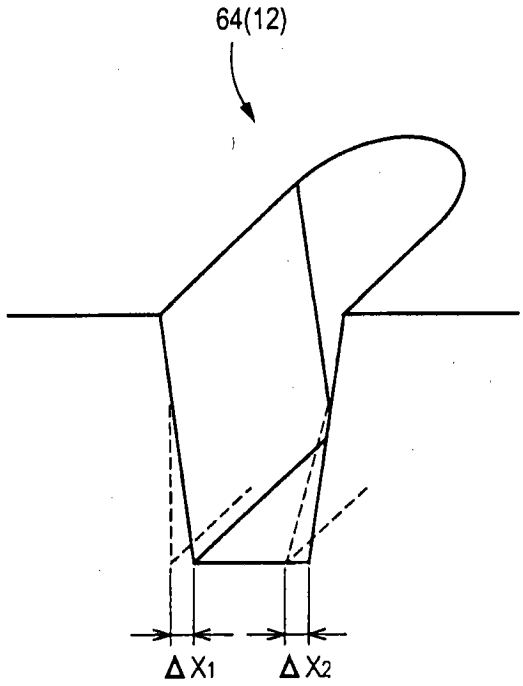


图6A

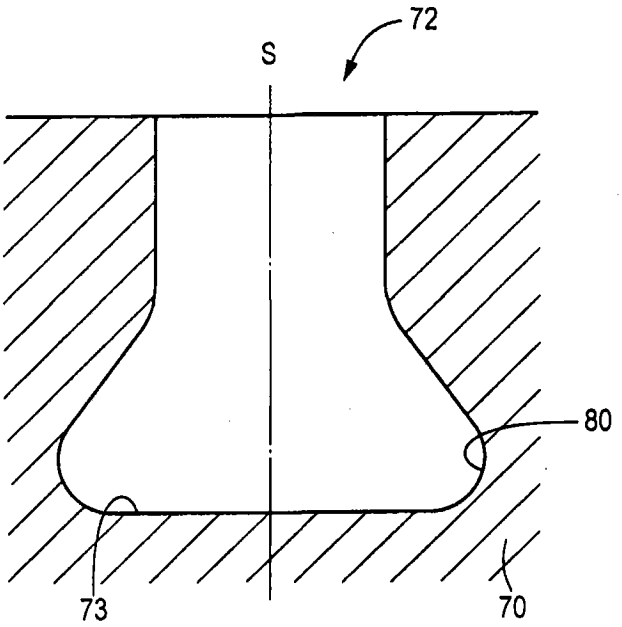


图6B

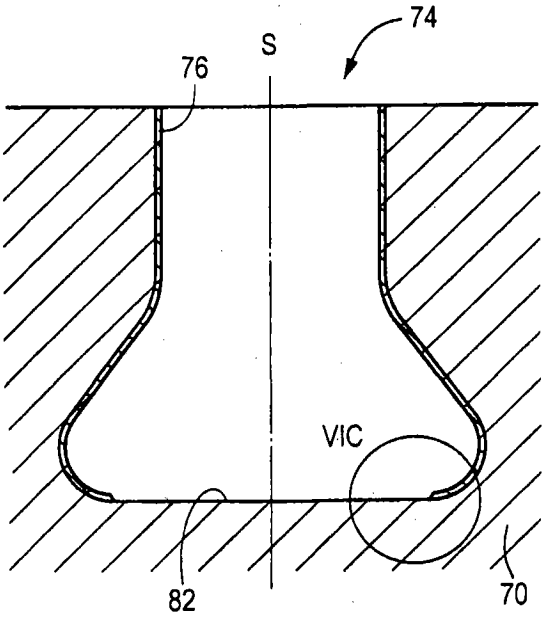


图6C

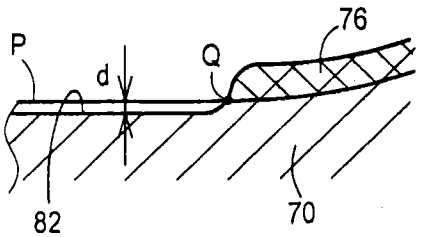


图7

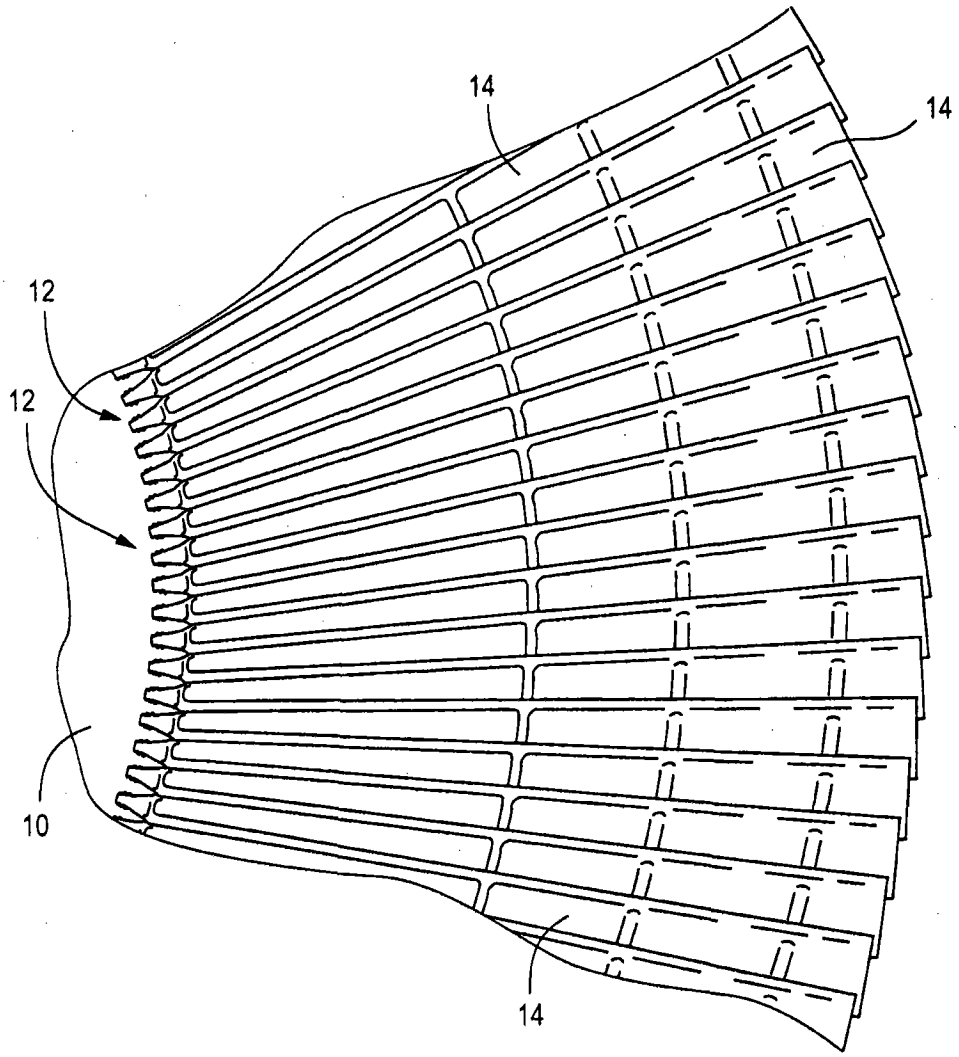


图8

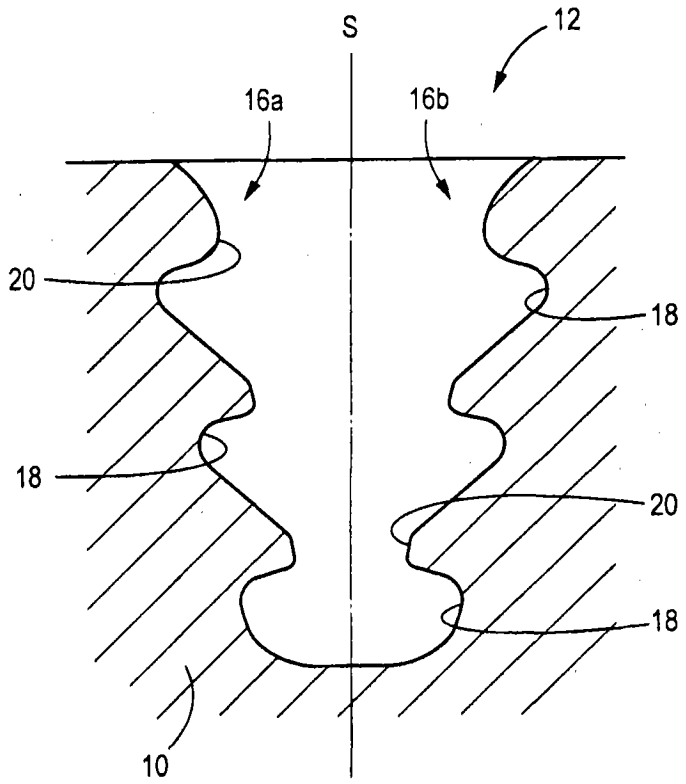


图9

