

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G05B 19/4099 (2006.01)

G05B 19/4061 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 01800901.8

[45] 授权公告日 2007 年 3 月 7 日

[11] 授权公告号 CN 1303487C

[22] 申请日 2001.4.11 [21] 申请号 01800901.8

[30] 优先权

[32] 2000. 4. 11 [33] US [31] 60/196,105

[86] 国际申请 PCT/IB2001/000792 2001.4.11

[87] 国际公布 WO2001/078943 英 2001.10.25

[85] 进入国家阶段日期 2001.12.11

[73] 专利权人 开明技术股份公司

地址 德国斯塔恩堡

[72] 发明人 约瑟夫·科赫

[56] 参考文献

US5107436A 1992.4.21

CN1217075A 1999.5.19

US4503493A 1985.3.5

US5726917A 1998.3.10

US4503373A 1985.3.5

审查员 刘 珺

[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

代理人 黄必青

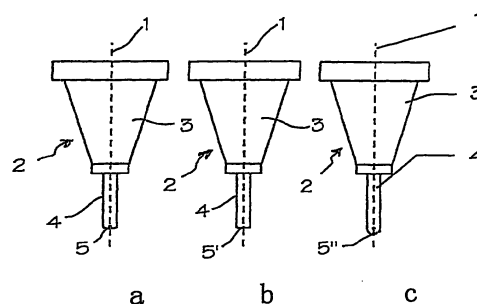
权利要求书 2 页 说明书 15 页 附图 10 页

[54] 发明名称

将导引工具运动的方法作为切削加工材料块
过程的一部分

[57] 摘要

一种导引工具的方法，用于加工材料块工件，
工具的切削工作部由沿着一个第一导引路径移动导
引，同时在工具的轴线上的距离工作部一定距离的
位置处的另外一点沿着一个规定的第二导引路径导
引，从而工具的五运动坐标被完全确定。



1. 一种导引具有一个工作部(5, 5', 5'')的工具(2, 2')来将材料块(6)加工成规定形状的工件的方法, 包含下述步骤:

将所述工具(2, 2')的工作部(5, 5', 5'')沿着一个第一导引路径(7)移动, 所述的第一导引路径(7)在所述材料块(6)的一个平面的导引表面(8)上延伸;

在所述的移动步骤中, 将所述第一导引路径(7)交叉在位于所述工具(2, 2')的轴线(1)上的一个第一点(11)处, 从而使得所述的交叉相对于所述的导引表面(8)保持在一个给定方向;

将位于所述工具(2, 2')的所述轴线(1)上的一个第二点沿着一个规定的第二导引路径(17)移动, 所述的第二点位于距离所述第一导引路径(7)的一个垂直距离的地方;

其中所述的第一导引路径(7)包括多个点, 所述的第二导引路径(17)包括由所有下述点(13)组成的轨迹(14), 这些点通过将所述第一导引路径(7)的每个点平移到一个位置处获得, 该位置包括一个与所述第一导引路径(7)正交的平移矢量, 所述的平移矢量具有一个平行于所述导引表面(8)的第一分量(d)和一个垂直于所述导引表面(8)的第二分量(dz)。

2. 如权利要求1的方法, 其中, 在每个第一点处, 所述工具(2, 2')的所述轴线(1)同时与所述第一导引路径(7)在预定点处相交, 相应的第二点是这样确定的, 即使所述第一点和所述第二点之间同时在所述预定的点处的距离最小化, 其中, 在所述的第二点处所述工具轴线(1)与所述第二导引路径(17)同时相交。

3. 如权利要求1或2的方法, 其中, 所述第一点沿着所述第一导引路径(7)以一个相同的速度移动, 所述的第二导引路径(17)是一条近似曲线(23), 从而使得所述第二点沿着所述第二导引路径(17)以最小的震动量移动。

4. 如权利要求3的方法, 其中, 所述的近似曲线(23)为三次

仿样函数。

5. 如权利要求 1 的方法, 其中, 针对位于所述第一导引路径 (7) 上的所述第一点的每个位置和所述工具 (2, 2') 的所述轴线 (1) 的所述的相关方向进行一个预先的计算, 来确定是否所述工具 (2, 2') 的几何包迹线会妨碍所述工件的表面外形, 并且在除所述工具的工作部之外的地方发现妨碍 (24) 时, 预测所述工具 (2, 2') 和所述工件之间会发生碰撞。

6. 如权利要求 5 的方法, 其中, 如果已经预测到会发生碰撞, 那么所述的碰撞通过下述方式避免:

计算一个最大角度, 在所述的最大角度时, 所述工具 (2, 2') 的所述轴线 (1) 可以相对于导引表面 (8) 的法向矢量 (9) 倾斜, 该最大角度为一个恰小于碰撞发生时的临界角度的角度,

根据所计算出来的最大角度来重新确定所述轴线 (1) 的方向。

7. 如权利要求 6 的方法, 进一步包括随后重新计算所述第一导引路径 (7) 的步骤, 该重新计算考虑到工具 (2, 2') 的工作部的几何特性。

8. 如权利要求 5 的方法, 其中, 所述的预先计算采用一个径向地包围所述工具 (2, 2') 的近似表面 (25, 25', 25'') 作为所述工具 (2, 2') 的实际几何包迹线的替代品而进行。

9. 如权利要求 8 的方法, 其中, 所述的近似表面 (25, 25', 25'') 包括一个锥形和截头锥形的工具。

10. 如权利要求 1 的方法, 其中, 所述的第一点和所述的第二点将所述轴线 (1) 的所述给定方向相对于所述平面导引表面 (8) 的法向矢量 (19) 以一个锐角 (W) 进行限定。

11. 如权利要求 1 的方法, 进一步包括下述步骤: 即采用 CAD 系统控制所述工具 (2, 2') 的所述轴线 (1) 的斜角。

12. 如权利要求 1 的方法, 其中, 所述的导引路径 (7, 17) 采用 CAD 系统计算出来。

将导引工具运动的方法作为切削加工材料块过程的一部分

优先权

根据 35 U.S.C § 119 的规定，本发明要求标题为“将导引工具运动的步骤作为切削加工材料块过程的一部分”、申请日为 2000 年 4 月 11 日，获得的临时申请号为 No.60/196105 的临时申请的优先权，所述的整个临时申请在此被引入作为参考。

技术领域

本发明总得来说涉及一种在将一块材料加工成规定形状的工件的过程中控制工具运动的方法，在该方法中工具的工作部的作用就是从块材料的表面去掉一些材料而将它形成一定的形状，工作部沿着一个导引路径移动，所述的导引路径在一个大体上为平面的导引表面延伸，从而与导引路径交叉的工具轴线相对于导引平面保持一个给定的方向。

背景技术

具体地讲，现有技术中有多种方法用在工具和模具的制造上，这些方法用于制造复杂形状的工件。要被形成规定形状的工件材料块由一个三到五轴线铣床的铣头加工。这种工作过程的优化大大地促进了采用这种方法制造的具有较佳成本效果的金属片材和塑料部件的应用，例如，在汽车工业和飞机制造业中，以及消费品工业中。

然而，现有技术的缺点在于工具和模具制造者需要制造的工件具有日益弯曲和复杂的形状，这些形状用现有的铣技术很难实现。具体地讲，在铣孔穴时，即在工件上深凹的、挖空的空间需要 3+2 轴线铣过程，在这种过程中现有的实践是至少沿着导引路径的部分将铣头与实际铣削工具的回转轴成成一个锐角。但是这会造成这样的困难，即铣头可能与处于加工过程中的工件的轮廓发生碰撞，这种危险对于现有技术中的这

些方法来讲是一个很大的缺点，对于这种危险这些现有技术方法也没有提供足够的保护。

另外，现有技术中另外一个缺点是其仅仅可以形成非常有限的深度的孔穴。

发明内容

本发明的一个特征和优点就是提供一种在将一材料块加工成规定形状的工件过程中控制工具的运动的方法，这种方法能够以高度可靠的加工过程将高度复杂形状的工件加工出来。

本发明的一种导引具有一个工作部的工具来将材料块加工成规定形状的工件的方法，包含下述步骤：将所述工具的工作部沿着一个第一导引路径移动，所述的第一导引路径在所述材料块的一个平面的导引表面上延伸；在所述的移动步骤中，将所述第一导引路径交叉在位于所述工具的轴线上一个第一点处，从而使得所述的交叉相对于所述的导引表面保持在一个给定方向；将位于所述工具的所述轴线上一个第二点沿着一个规定的第二导引路径移动，所述的第二点位于距离所述第一导引路径的一个垂直距离的地方；其中所述的第一导引路径包括多个点，所述的第二导引路径包括由所有下述点组成的轨迹，这些点通过将所述第一导引路径的每个点平移到一个位置处获得，该位置包括一个与所述第一导引路径正交的平移矢量，所述的平移矢量具有一个平行于所述导引表面的第一分量 d 和一个垂直于所述导引表面的第二分量 dz 。

在每个第一点处，所述工具的所述轴线同时与所述第一导引路径在预定点处相交，相应的第二点是这样确定的，即使所述第一点和所述第二点之间同时在所述预定的点处的距离最小化，其中，在所述的第二点处所述工具轴线与所述第二导引路径同时相交。

所述第一点沿着所述第一导引路径以一个相同的速度移动，所述的第二导引路径是一条近似曲线，从而使得所述第二点沿着所述第二导引路径以最小的震动量移动。

所述的近似曲线为三次仿样函数。

针对位于所述第一导引路径上的每个位置和所述工具的所述轴线的所述的相关方向进行一个预先的计算,来确定是否所述工具的几何包迹线会妨碍所述工件的表面外形,并且在除所述工具的工作部之外的地方发现妨碍时,预测所述工具和所述工件之间会发生碰撞。

如果已经预测到会发生碰撞,那么所述的碰撞通过下述方式避免:计算一个最大角度,在所述的最大角度时,工具的轴线可以相对于导引表面的法向矢量倾斜,该最大角度为一个恰小于碰撞发生时的临界角度,根据所计算出来的最大角度来重新确定所述轴线的方向。

进一步包括随后重新计算所述第一导引路径的步骤,该重新计算考虑到工具的工作部的几何特性。

所述的预先计算采用一个径向地包围所述工具的近似表面作为所述工具的实际几何包迹线的替代品而进行。

所述的近似表面包括一个锥形和截头锥形的工具。

所述的第一点和所述的第二点将所述轴线的所述给定方向相对于所述平面导引表面的法向矢量以一个锐角进行限定。

进一步包括下述步骤:即采用 CAD 系统控制所述工具的所述轴线的斜角来将碰撞最小化。

如果所述轴线的不发生碰撞的方向没能找到,并且在一个预测位置的碰撞不能通过由所述轴线和法向矢量限定的平面的横向偏移而得以避免,那么用于加工工件的控制程序结束。

所述的导引路径采用 CAD 系统计算出来。

根据本发明的第一实施例,公开了一种方法,该方法包括将位于工具轴线上距离第一导引路径一段距离处的点沿着一个规定的第二导引路径导引。本发明特别适合于生成用于五轴线铣床的程序。然而,本发明的方法并不局限于这种具体的应用,而是也适用于控制其他切削工具如激光工具的运动。

在本发明的第一实施例中,第一导引路径被如此选择,使得工具的切削工作部(即铣刀的切削端部)沿着相应于所需工件形状的轮廓曲线在导引平面内移动,同时,第二导引路径被适当地选择,使得工具(即

铣刀)的回转轴线的方向在加工过程的任何时候都最佳地适应于要被加工成型的工件的表面壁,和/或工具及其工具座被保持在距离工件表面一个预定距离的位置上。

当工件的形状在计算机辅助设计系统(CAD)中按照通常方式模拟时,CAD数据可以通过整体的或者标准的界面提供作为导引路径计算的基础。从所述CAD数据计算出来的导引路径与计算机数字控制(CNC's)相兼容的数据格式传递。所述的CNC's会接着导引数字控制的机器工具使得位于工具轴线上的两个预定点相应地遵循着第一和第二导引路径。

因此,加工工具可以是一个五轴线铣床,该铣床能允许铣削工具沿着三个相互正交的平移轴线作平移运动,以及围绕两个相互正交的回转轴线作旋转运动。

计算出的导引路径不一定完全是两维曲线(即,包含导引路径的导引表面不一定完全是两维的)。另外,可以看出在加工材料块的过程中,工具沿着位于导引表面中延伸的多个导引路径移动,所述的导引表面相互平行,彼此间隔一个垂直的距离。对于每个在给定导引平面中延伸的第一导引路径,通过CAD系统确定相关连的第二导引路径。第一导引路径实际上类似于表示工件形状的外形图的轮廓线。

应当指出,根据公知的计算方法,工件和导引路径的形状仅仅需要按照给定的公差尽可能精确地模拟,从而通过修整的表面、立体几何形状或者近似曲线而对工件表面和轮廓曲线进行逼近的公知技术可以被采用。

在本发明的一个优选实施例中,第二导引路径距离包含第一导引路径的导引表面的正交距离保持恒定。例如,包含第一导引路径的导引表面可以平行于一个空间固定坐标系的xy平面,也就是说,仅仅x和y沿着第一导引路径可以变化,而第一导引路径的z坐标保持一个恒定值。包含第二导引路径的表面以另外一个固定的z坐标值平行延伸。

在本发明的一个优选实施例中,第二导引路径被定义为通过将第一导引路径的每个点在垂直于第一导引路径的方向上平移到下述点处而

获得的所有点的线而获得的轨迹，所述的点位于平行于导引平面一个给定距离，以及垂直于导引平面另外一个给定距离处。因此，如果第二导引路径在第一导引路径的导引平面上垂直地延伸，那么第一导引路径和第二导引路径的延伸会彼此相距一个恒定距离在大体为二维的导引表面中延伸。在第一导引路径形成一个封闭环的情形中，如果工件的相应的表面部分为凹形，那么第二导引路径将会在第一导引路径内部延伸。如果工件的相应表面部分为凸形，那么第二导引路径将会在第一导引路径外部延伸。

在本发明的另外一个特征中，对于工具的轴线与第一导引路径交叉的每一个点，工具轴线在第二导引路径上被导引的相关连的点被确定为距离第一导引路径上所述点距离最小的点。这确保了沿着第二导引路径移动与工具上的沿着第一导引路径以一个给定速度导引的点的前进同步进行。第一导引路径的作为时间的函数的参数表示法，提供了一种简单的方法来计算第二导引路径的同步参数表示法，所述的第一通道作为时间的函数的参数表示法确定了位于工具轴线上的点的运动速度。由此，位于工具轴线上的两个点以及因此工具轴线的方向可以清楚地确定下来。

在本文中，作为另外一个优点，轴线与第一导引路径的交叉点沿着第一导引路径以一个相同的速度移动，第二导引路径是近似曲线的一个适当的组合，使得沿着第二导引路径移动的轴线上的点光滑地前进（即，相对来讲没有震动——这种震动由加速度的第一次求导（移动路径相对于时间的第三次求导）来定义）。尽管所述的给定的速度确保沿着第一导引路径没有震动地移动，但是所获得的第二导引路径可能会有不能对时间求导的点；当工具轴线在第二移动路径上通过相应位置时，不能对时间求导是会引起不良震动的条件。通过对近似曲线段（即三次仿样函数）的适当选择，通过确保对时间的第三次求导的连续性可以将震动最小化。

本发明的另外一个重要特征是对工具在第一导引路径上的每个工具位置和工具轴线的相关方向，工具的几何包迹线和工件表面外形之

间的位置关系可预先计算出来。当在除了工具的工作部位置之外发现空间干涉的情形中，本发明的方法包括预测在两个空间包迹线之间发生碰撞的步骤。在工具（即由铣刀和工具座构成的铣头）和处于进程中的工件之间的碰撞可以通过对第二导引路径谨慎的选择而避免。

本发明的另外一个特征是自动地预测和避免碰撞。这不仅仅考虑到工具本身的几何形状如细长的圆柱铣刀，而且还考虑到工具座的形状，工具座在加工深孔的情形中不得不进入到工件的周边空间内部深的位置以至于可能与所述孔的壁发生碰撞。

由于这种预测即将发生碰撞的能力，本发明的优选实施例提供了一种通过计算最大角度（恰小于碰撞发生时的角度）以及根据计算出来的最大角度来确定所述轴线的方向来自动避免碰撞的能力，在所述的最大角度时，工具的轴线可以相对于第一导引路径的导引表面的垂直方向倾斜。通过这种轴线的重新定向，工具可以移动而没有工作过程中的任何中断。

由于轴线的重新定向能引起工具的工作部的位置相对于被加工的材料块的变化，本发明的第二实施例在考虑到工具的工作部的几何形状下能对第一导引路径重新计算。

在这种计算中，将工具的几何形状由径向包围着工具的近似表面替代很重要。近似表面可以通过下述方式形成（即在 CAD 系统中按通常的方法将表面线段连接起来），可以通过立体几何形状的合成或者通过网格单元结构，这将大大地简化和缩短了空间妨碍的计算，因为避免碰撞的计算可以在一个相对较大的公差水平下进行。假如所述工具通常为相对于其轴线呈旋转对称，且工具座在大多数情形中比实际工具本身的直径大，那么圆锥形近似表面将是一个较好的选择（即，从工具的工作部向着具有一个变宽的锥度的工具座延伸将工具座包围起来的表面）。

这里已经相当宽地描绘出本发明的重要特征，以便使紧接着的详细描述能够被更好地理解，以及本发明对现有技术的贡献可以被更好的理解。当然，本发明也存在着其它特征，这将会在下文中进行详细描述，其将构成所附权利要求书的主题。

就此而言，在详细说明本发明的至少一个实施例之前，应当明白，本发明在应用中并不局限于下文或者附图中将要描述和说明的具体结构和零件的安排。本发明能够用于其他实施例中和能够以各种方式实施。另外，应当理解这里采用的措辞和术语以及随后的摘要仅仅是用于说明的目的，而不应当被理解为是起限定作用。

由此，本领域技术人员应当理解本发明公开内容所基于的概念可以很容易地被用作其它结构、方法和系统的设计基础而实现本发明的几个目的。因此，在不脱离本发明精髓和范围的情况下，权利要求书应当被认为包含了这些等同的结构，这一点是很重要的。

附图说明

本发明其它的特征、细节和优点将通过下面的说明书和附图变的明了，其中：

图 1 (a)、(b) 和 (c) 示出带有不同形状的工作部的铣削工具的示意图；

图 2 为一个示意图，示出在加工一个孔洞过程中的铣削工具；

图 3 为一个平面图的一部分，示出的是具有铣削工具的第一导引路径的一个导引平面；

图 4 为一个示意图，示出的是如何确定第二导引路径；

图 5 为一个示意图，示出的是铣削工具相对于两个导引路径的位置；

图 6 为一个示意图，示出的是沿着第一和第二导引路径工具同步前进的原理；

图 7 为一个示意图，示出的是第二导引路径的减少震动的近似法；

图 8 为一个示意图，示出的是为了避免碰撞，工具轴线的重新取向；

图 9 为一个示意图，示出的是在轴线重新取向之后如何重新计算第一导引路径；

图 10 (a)、(b) 和 (c) 为几个示意图，示出的是为了所述工具的几何包迹的不同近似表面。

具体实施方式

如图 1 (a)、1 (b) 和 1 (c) 所示, 本发明公开了一种工具 2, 该工具相对于一个轴线具有回转对称性。该工具 2 包括一个大体锥形的工具座 3, 在工具座 3 中夹持着圆柱形铣刀的圆柱形工具柄 4, 该柄 4 的长度比其宽度明显的长。轴线 1 代表着锥形工具座 3 以及圆柱形工具柄 4 的回转对称轴线。在附图 1 (a)、1 (b) 和 1 (c) 中的三种工具 2 的唯一区别在于其位于工具 2 的自由端 (即, 在工具柄上与形成工具座 3 相对的一端) 的相应的工作部 5、5'、5'' 的形状。工作部 5、5'、5'' 的目的就是与材料块 6 机械地相互作用并从其上去除材料, 从而形成工件, 图 2 中示意地示出。

例如, 图 1 (b) 中的工具 2 为一种带柄的铣刀, 具有一个长的圆柱形工具柄 4, 其工作部 5' 形成在位于自由端的一个径向导引端部表面。另一方面, 图 1 (a) 示出一个导圆的铣刀, 其中工作部 5 在位于柄 4 的端部表面和外圆周表面之间的过渡位置具有一个给定半径的倒角。最后, 图 1 (c) 示出一种球形铣刀, 其中工作部 5'' 在其工具柄 4 的自由端具有一个半球形状的倒角。

工具 2 为一个五轴线铣床的一部分, 该五轴线铣床的工具 2 在三维笛卡儿坐标系 x 、 y 、 z 作平移运动和相对于两个相互正交的回转轴线作旋转运动。工具 2 的瞬间旋转方向由一个单位向量 (即一个向量, 其分量为 u 、 v 、 w , 满足条件 $u^2+v^2+w^2=1$) 来描述, 该单位向量平行于轴线 1 的方向。

所述铣床装备有计算机数字控制 (CNC) 系统, 能够执行数字控制 (NC) 程序, 该程序在一个计算机辅助制造 (CAM) 系统上准备, 即在一种能够控制铣削工具 2 的进行所需运动的系统上准备。

为了将一个材料块 6 加工成规定形状的工件, 将工件的形状在 CAD 系统中模拟, 并通过代表着通常的 CAD 格式的数据组描述出来, 这些数据组给出要在加工过程中制造出来的工件 (即材料块 6) 表面的足够的定义。在这个数据的基础上, 第一导引路径 7 在平面导引表面 8 上得

以计算出来。

作为一个实例，现有的 CAD 格式类型，被称为 NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines)、B-仿形功能、Bezier 曲线以及专有的固体模拟格式如 B-Rep 和 Mockups，这些都可以被采用。从 CAD 数据计算出来的导引路径以与现有的 CNC's 兼容的数据格式传递。

图 3 示出第一导引路径 7 的一段从垂直于平面导引表面 8 的方向看的情形，第一导引路径 7 包含在平面导引表面 8 中。图 3 也示出了工具柄 4 的剖面，以及已经在加工过程加工了的材料块 6 的表面部分 9、9'。实际上，图 3 仅仅示出第一导引路径 7 的平滑轨迹。更详细地，工具柄 4 的相应工作部 5、5'、5'' 没有示出，而再现第一导引路径 7 的曲线小段 10。

图 4 示出从垂直于导引平面 8 的方向看时第一导引路径 7 的一段。在第一导引路径 7 上的每个点（第一点）11，确定一个距离向量 12，该距离向量在点 11 处垂直于第一导引路径 7 的切线并为一个规定的固定长度 d 。在与距离向量 12 的点 11 相反一端的点 13 限定出所有点的轨迹 14，这些所有的点位于距离第一导引路径 7 的规定距离 d 处。在第一导引路径 7 的狭窄弯折区域，距离向量 12 的点对点计算过程可形成如图 4 中虚线所示的段 15。然而，段 15 由于并不能满足相对于所有的导引路径 7 有一个规定的距离 d ，因此，从交点 16 开始被删除，从而真正的轨迹 14 为图 4 中实线所示的剩余连续曲线。

根据图 5 中所示，在第一导引路径 7 的平面导引表面 8 上延伸的轨迹曲线 14 上的每一点被平行于导引表面 8 平移一个规定的垂直距离 dz ，以及另外一个垂直于导引表面 8 的规定距离，平移后的曲线被用作工具 2 的轴线 1 上点的第二导引路径 17。因此，第二导引路径 17 距离包含第一通道 7 的导引表面 8 的垂直距离保持恒定。作为一个例子，包含第一导引路径 7 的导引表面 8 可以平行于一个空间固定坐标系的 xy 平面，即，沿着第一导引路径 7 仅仅 x 和 y 可变，而第一导引路径 7 的 z 坐标保持恒定值。包含第二导引路径 17 的表面以另外一个固定 z 坐标值平行延伸。

换句话说，如果第二导引路径 17 在第一导引路径 7 的导引表面 8 上垂直地伸展，第一导引路径 7 和第二导引路径 17 的伸展部分将彼此以恒定距离基本在平面导引表面 8 内移动。在第一导引路径 7 形成一个封闭环的情况下，如果工件相应的表面部分是凹入形状，第二导引路径 17 的伸展部分将在第一导引路径 7 的内侧移动。当相应的工件表面部分是凸出形状时，第二导引路径 17 的伸展部分将在第一导引路径 7 的外侧移动。

如图 5 所示，轴 1 与第一导引路径 7 相交于工具柄 4 的球形切割端的工件部 5" 的中心。因而，与第一和第二导引路径 7 和 17 分别相交的两点限定轴 1 相对于平面导引表面 8 的法向矢量 19 以锐角 W 定位，矢量 20 表示导引表面自身。因而，单位矢量 (u 、 v 、 w) 描述的轴 1 的空间定位完全得以限定。

换句话说，当第一导引路径 7 经选定使得工具 2 的去除材料的工作部 5 (即铣刀的切削端部) 在导引表面 8 中对应于所需工件形状的轮廓曲线沿着第一导引路径 7 移动，第二导引路径 17 经适当地选择使得工具 2 (即铣刀) 的回转轴 1 的方向在整个过程的任何时间都最佳地适应于加工时材料块 6 的表面壁 9，和/或工具 2 及其工具座 3 被固定在距离材料块 6 的表面一个预定距离处。

由于工件的形状用 CAD 系统模拟，导引路径以与传统 CNC's 相兼容的数据格式输送的 CAD 数据中计算出来，所以 CNC's 将会导引数字控制的机器工具 2 使得前述的位于工具轴线上的两点相应地跟随第一和第二导引路径 7、17 运动。

根据公知的算法，材料块 6 的形状和导引路径 7、17 需要在给定公差要求下尽可能精确地模拟，使得人们可以给出通过修整的表面、立体的几何图形或者近似曲线而进行工件表面和轮廓曲线的逼近的公知技术。

工具 2 的表面成形工作部 5、5'、5'' 沿着第一导引路径 7 的前进是以一个规定的恒定速度进行，从而轴线 1 与第一导引路径 7 的交叉点 21 (参见图 6) 将会沿着第一导引路径 7 以相同的速率移动。沿着第一导引

路径 7 的移动是通过将第一导引路径 7 的 (x, y, z) 坐标以参数的形式定义为时间 t 的函数并确定时间导数而获得。对于轴线 1 与第一导引路径 7 相交的每个点 21, 为了确定工具 2 的轴线 1 的方向矢量 (u, v, w) , 位于第二导引路径 17 上的相关的点 22 被这样确定, 使得位于点 21 和 22 之间的距离最小化。这确保了点 22 沿着第二导引路径 17 的移动与沿着第一导引路径 7 以给定速度导引的工具 2 上的点的前进同步。这个规则对于每个参数值 t 不仅限定了沿着第一导引路径 7 移动的交叉点 21 的三个坐标 $x(t), y(t), z(t)$, 而且也限定了沿着第二导引路径 17 移动的交叉点 22 的坐标 $a(t), b(t), c(t)$ 。代表着工具 2 的轴线 1 空间方向的单位矢量 $u(t), v(t), w(t)$ 由前述的六个坐标值限定, 从而用于导引工具 2 的五个机器坐标函数被完全确定。因而, 第一导引路径 7 作为时间函数的参数表示法提供了一种简单的方法来计算第二导引路径 17 的同步参数表示法, 所述第一导引路径作为时间函数的参数表示法确定了位于工具轴线 1 上的点的运动速度。由此, 位于工具 2 的轴线 1 上的两点以及工具轴线 1 的方向被清楚地确定下来。

在图 4 的上下文中已经进行过描述, 在第一导引路径 7 通过小曲率转弯的地方, 第二导引路径 17 所基于的轨迹 14 可以具有时间导数不能确定的尖角 26 (即奇异性)。从第二导引路径 17 作为时间函数的参数表示法开始, 第一次求导获得沿着第二导引路径 17 的前进速率, 第二次求导获得加速度, 第三次求导表示加速度的变化。为了避免由于加速度突然变化 (第三次对时间求导的峰值) 而引起的不良震动, 轴线 1 与第一导引路径 7 的交点 21 沿着第一导引路径 7 以相同的速度移动, 第二导引路径 17 至少在奇异点 16 处附近被一近似曲线 23 替代 (图 7), 该近似曲线具有连续的导数, 使得沿着第二导引路径 17 移动的轴线 1 的点 22 光滑地前进, 从而减小了震动影响。震动被定义为加速度的第一次求导 (即移动路径的第三次求导)。三次仿样函数特别适合于近似曲线 23。

尽管给定的速度确保了没有震动地沿着第一导引路径 7 的移动, 但是获得的第二导引路径 17 可以有一些时间导数不能求出的点, 不能求

出导数是轴线 1 在第二导引路径 17 上通过相应位置时引起不良震动的条件。通过近似曲线段 10 (即三次仿样函数) 的适当选择, 通过确保第三次导数 (对时间) 的连续性, 所述的震动可以被最小化。

如图 5 中所示, 导引表面 8 的法向矢量 19 在附图的平面内延伸。参照图 5 和 8 以及图 4, 首先观察第一导引路径 7 的小曲率部分, 在该部分中, 工具 2 与材料块 6 的表面部分碰撞的可能升高。通过对第二导引路径 17 的适当的选择, 或者更具体地说, 是对图 5 中的距离矢量 12 的适当选择, 工具 2 的轴线 1 的斜角被如此的控制从而将上述碰撞的可能最小化。另外, 工具 2 沿着两个导引路径 7、17 的移动非常协调地展现给机器的操作者, 因此具有安全性和可预测性的优点。

然而, 在复杂形状的工件中, 特别是具有深孔的情形, 采用预先确定的固定距离的矢量 12 不能彻底地防止发生碰撞。由于这个原因, 本发明提供了可预示即将发生碰撞的能力, 这是通过分析工具 2 的相应几何包迹线和进程中的工件之间的空间关系, 并进行预先计算确定是否它们会彼此影响, 如图 8 中所示的例子中在工具包迹线 2' 和材料块 6 的工件包迹线之间出现了干涉部分 24。通过这种计算过程, 如果工具 2 沿着预先计算出来的导引路径 7、17 移动, 就可以对碰撞作出预言。

因此, 对于在第一导引路径 7 中工具 1 的每个位置和工具轴线 1 的相关方向, 工具 1 的几何包迹线和工件表面的外形之间的位置关系可预先计算出来。当发现在一个不是工具 2 的工作部的位置处会有空间位置相互妨碍的情形中, 本方法可以包括预测两个空间包迹线之间的碰撞的步骤。

在工具 2 (即由铣刀和工具座 3 构成的铣头) 和处于进程中的工件表面之间的碰撞可以通过细心地选择第二导引路径 17 而得以避免。因此, 本发明的方法不仅仅考虑到工具 2 本身的几何形状, 如细长的圆柱形铣刀, 而且还考虑到了工具座 3 的形状, 该工具座 3 在加工深孔的情形中不得不进入到工件的周边内部空间很深以致于可能会与孔壁发生碰撞。

对这种碰撞预测的利用, 本发明的方法需要自动避免碰撞程序, 对

工具 2 的轴线 1 可以相对于第一导引路径 7 的导引表面 8 的法向矢量 19 的最大倾斜角度（恰小于碰撞发生的角度）进行计算，并根据计算出来的最大角度设定轴线 1 的方向。在找到了前述定义的最大角度之后，预先计算出来的位置（ x 、 y 、 z 、 u 、 v 、 w ）用新的、不会碰撞的位置替代，该新位置由坐标值 x 、 y 、 z 、 u' 、 v' 、 w' 表示。这意味着轴线 1 向着所述法向矢量 19 旋转角度 θ ，从而工具 2 的干涉部分 24 从工件的包迹线移出，工具 2 可以进行移动而不会中断工作过程。

然而，在轴线 1 不发生碰撞的方向找不到的情形时（由于第二导引路径 17 的不利的形状引起的），产生控制程序的过程被中断。在中断该程序之前，可以尝试计算是否在预测位置的碰撞能够通过将由轴线 1 和法向矢量 19 限定的平面横向偏移而得以避免。

如果轴线 1 的方向被改变以便避免碰撞，由于图 1 (c) 的铣刀的球形形状，所以在位于表面成形工作部 5'' 和材料块 6 之间的接触区域不需要进行变化。相反，采用如图 1 (a) 所示的导圆的铣刀以及图 1 (b) 柄型铣刀，需要对接触区域进行重新计算，因为切削材料的工作部 5、5' 不是球形对称形状。图 9 有助于示出这种情形。作为重新计算的结果，具有轴线 1 的工具 2 在法向矢量 19 的方向上向着相应由 2' 和 1' 标示的位置移动。从而接触区域得到调整而不会产生新的碰撞危险；只要被生产的工件的形状不包含任何凹入切割。如果由于工件的形状需要复杂的凹入切割而存在新的碰撞危险，在图 8 的上下文中讨论过的碰撞分析可以再一次进行，接下来接触区域的调整已经以图 9 为基础描述过了。调整和碰撞分析过程可以作为一个循环而重复进行，直到完全确保不存在碰撞危险为止。

由于轴线 1 的重新取向可以引起工具 2 的工作部 5 的位置相对于被加工的材料块 6 的位置发生改变，所以本发明的第二实施例考虑到工具 2 的工作部 5 的几何形状，能够对第一导引路径 7 进行重新计算。

具体地讲，为了简化和提高先前段落中讨论的碰撞分析速度，实践中通过采用简化的近似表面 25 代替工具 2 的可能比较复杂的空间包迹线并降低相关计算的复杂性，所述的近似表面 25 以下述方式径向地包

围着工具 2, 即, 在近似表面 25 和工件之间确实不会碰撞, 而使实际的工具 2 和进程中的工件之间不会发生碰撞性。

所述的近似表面可以被如此限定 (即在 CAD 系统中向通常一样将各段接起来), 通过立体几何形状的合成或者通过网格单元结构来实现, 这大大地简化和缩短了空间干涉的计算, 这是因为防止碰撞的计算可以在一个相对较大的公差级别进行。

更加具体地说, 如果工件的形状在碰撞分析中被表示为一个邻接的平面网格的组合, 这种组合对于实现这种目的的是一个足够好的逼近方法, 每个近似表面 25、25'、25'' 的妨碍计算都导致圆锥分段 (cone sections)。假如工具 2 通常为相对于其轴线 1 对称地旋转, 且工具座 3 在大多数情况中比实际工具 2 本身的直径大, 那么圆锥形近似表面将是一个较好的选择 (即, 从工具 2 的工作部 5 向着工具座 3 延伸的表面, 其具有一个变宽的锥度将工具座 3 包围起来)。

在附图 10 (a)、(b) 和 (c) 中示出近似表面的例子。图 10 (a) 中近似表面 25 是工具 2 的一个相对粗糙的替代品, 其是一个圆锥形, 圆锥的顶点与工具柄 4 的工作部 5'' 重合, 并从该点处分叉到达工具座 3 的最大半径 26。

图 10 (b) 的近似表面 25' 表示的工具 2 很大程度上更接近于一个截头圆锥形状, 该截头圆锥形状与工具座 3 的最小半径 16' 和最大半径 26'' 相一致, 而工具柄 4 在碰撞分析中表示为其实际的形状。

图 10 (c) 中的近似表面 25'' 给出工具 2 的另外一种更接近实际形状的代表图形, 因为该图形以一个较小的径向距离包住了工具座 3 与其实际形状完全一致。

因此, 仅仅涉及到两次方程式, 这种方程式可以用代数方法解出。作为平面网格的替代方式, 可以采用点阵, 这种点阵可以非常迅速地用公知的方法分析。作为另外一种方案, 工具 2 的几何模型可以被描述为平面或者立体模型, 提供简单的方式进行计算。

本发明的很多特征和优点通过详细的说明而得以明了, 因此通过所附的权利要求书意图覆盖所有落入到本发明精髓和范围之内所有特

征和优点。另外，对于本领域技术人员来讲可以容易地进行多种改变和变形，因此，并不想将本发明限定到与前文示出和描述的结构和控制完全相同的情形，而是所有适当的改变和变形均可以进行，这些都落在了本发明的保护范围之内。

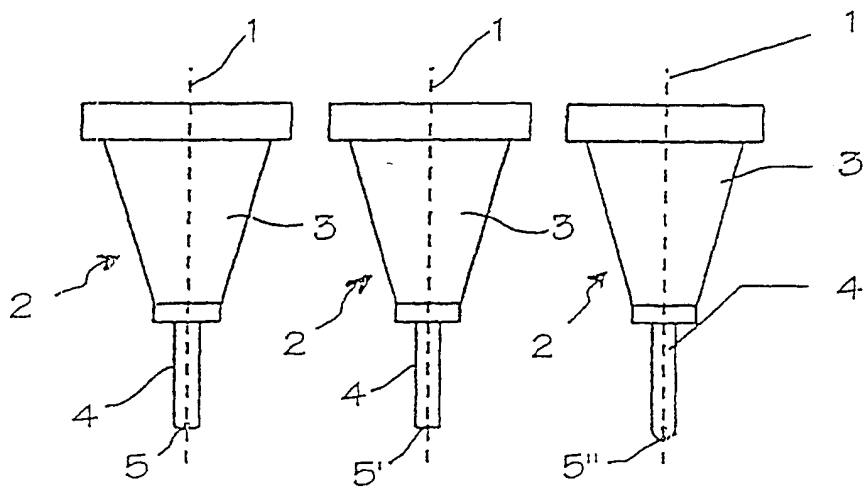


图 1(a) 图 1(b) 图 1(c)

图 2

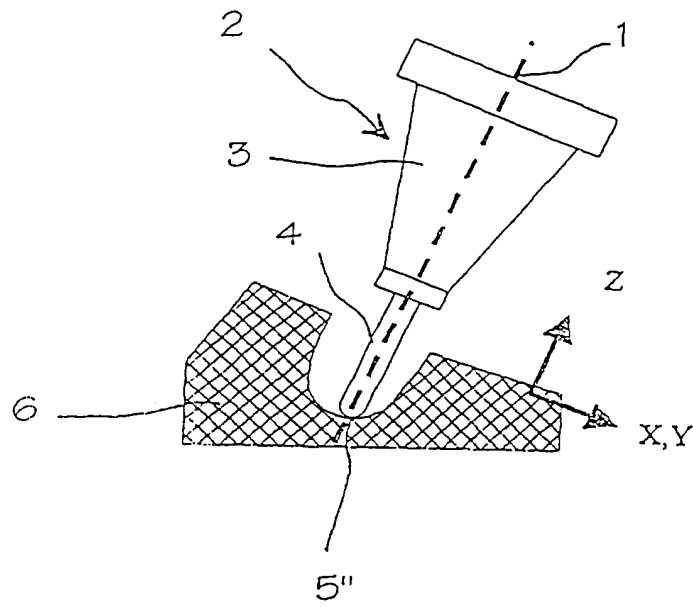


图 3

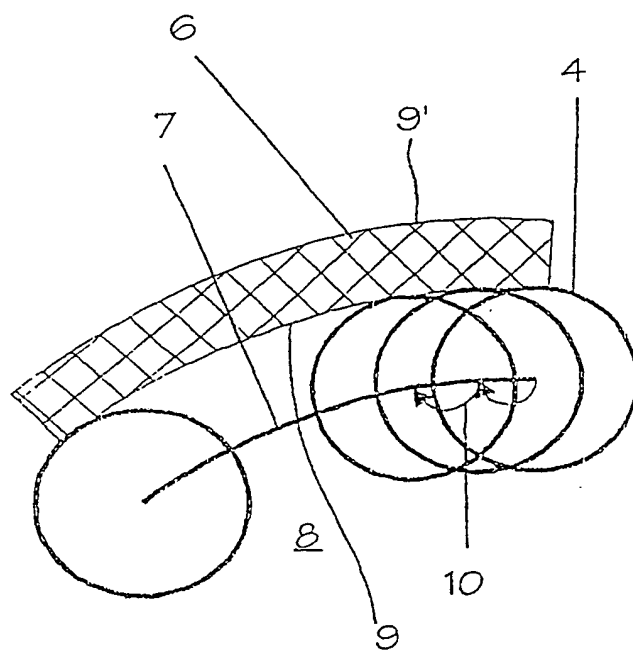


图 4

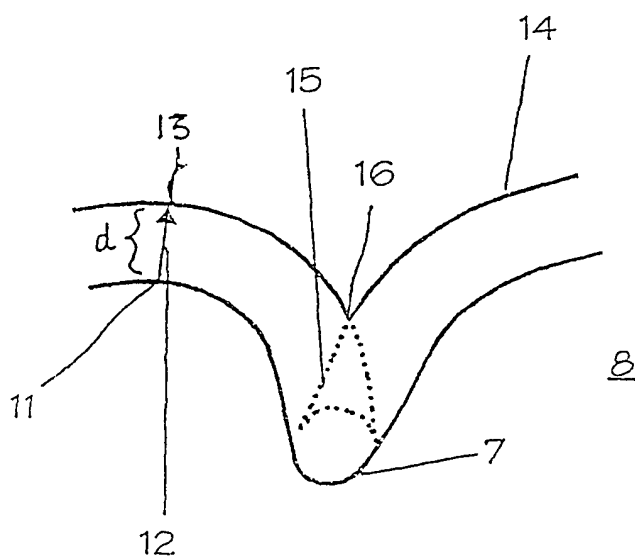


图 5

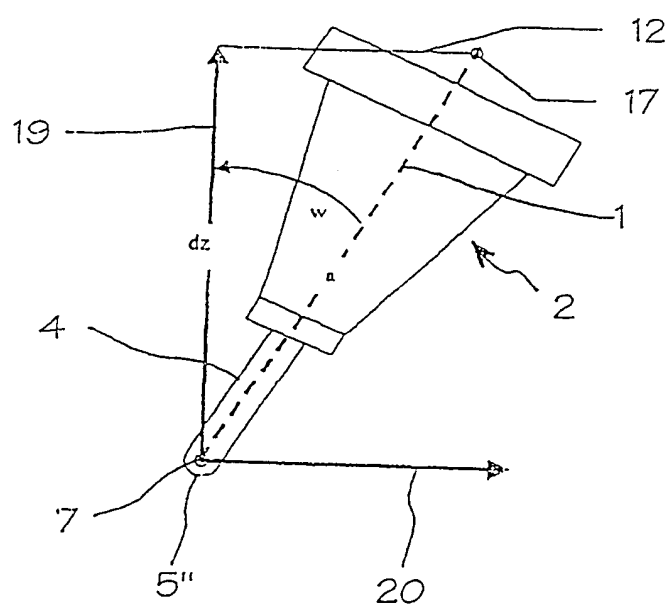


图 6

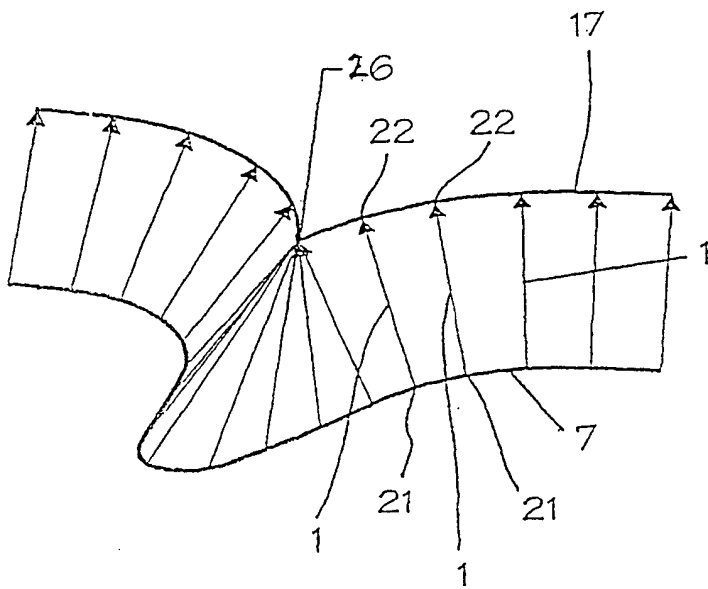


图 7

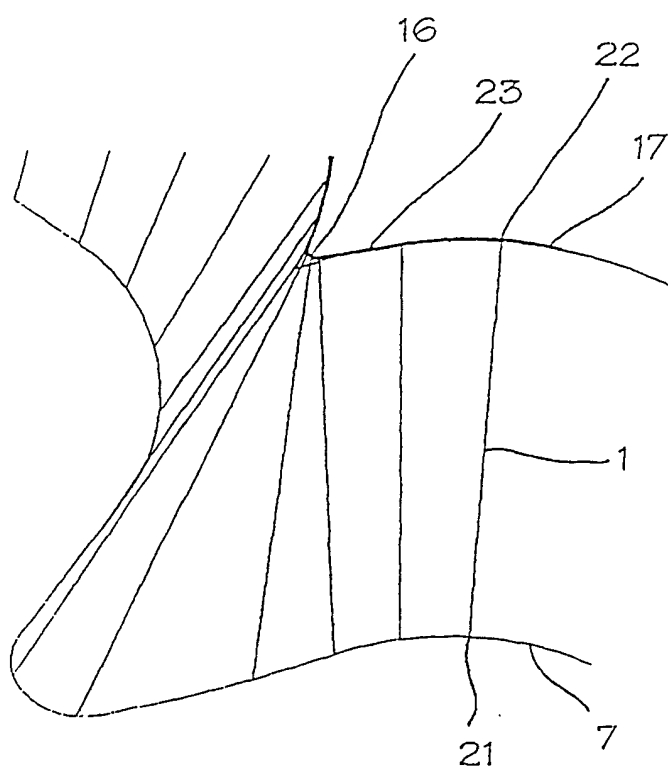


图 8

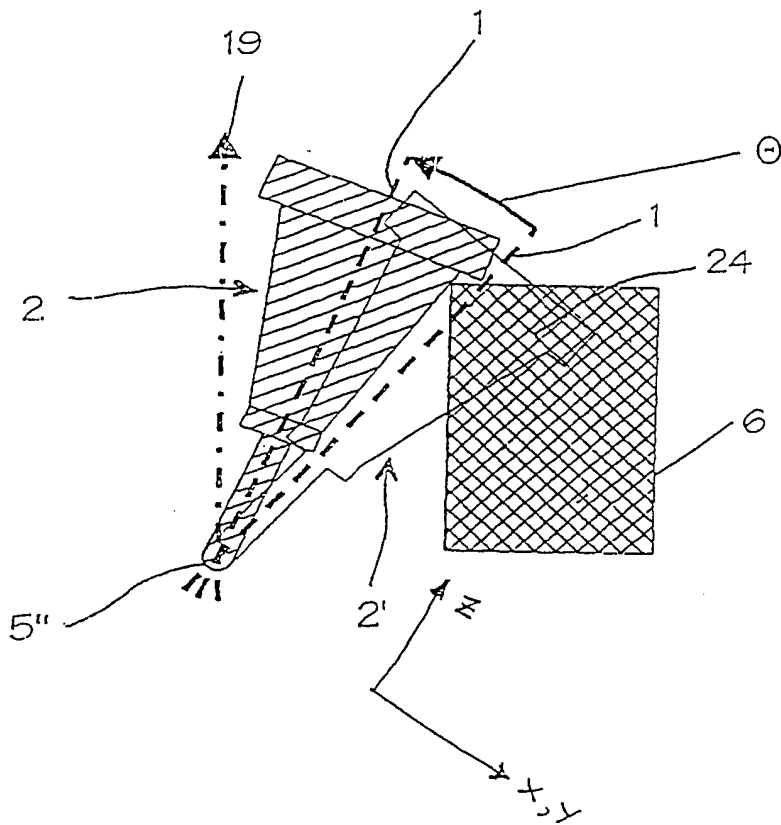
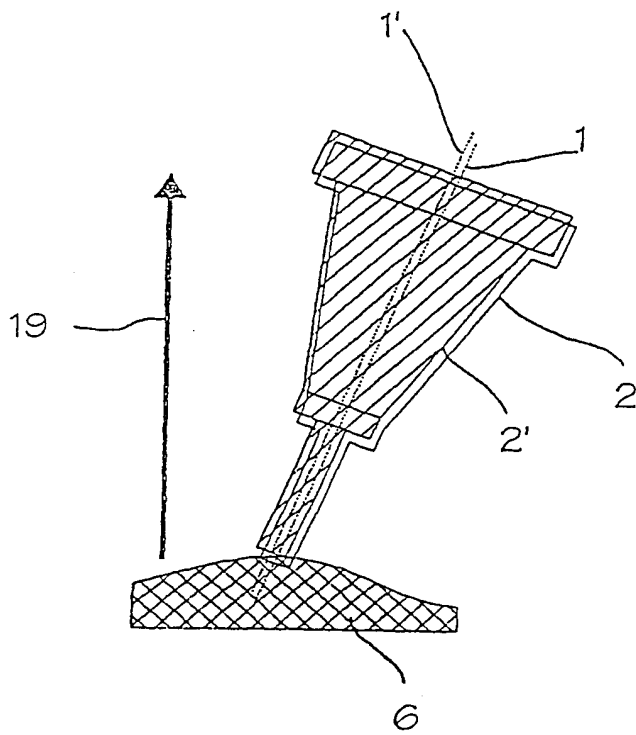


图 9



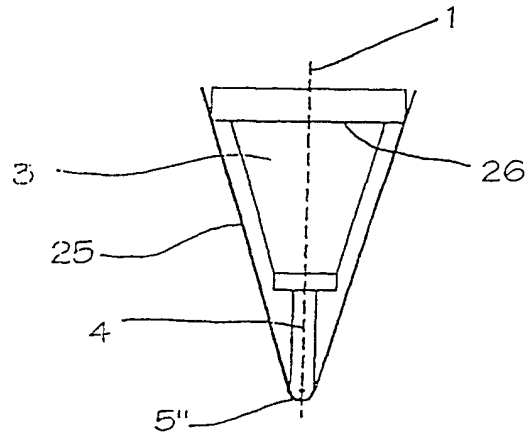


图 10(a)

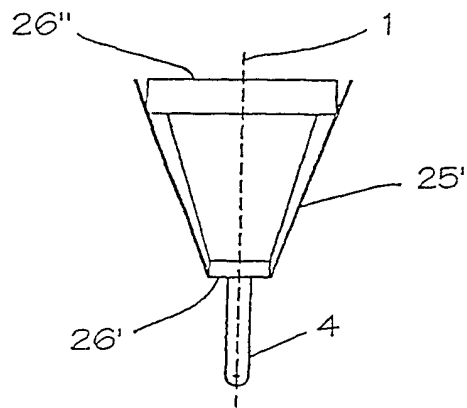


图 10(b)

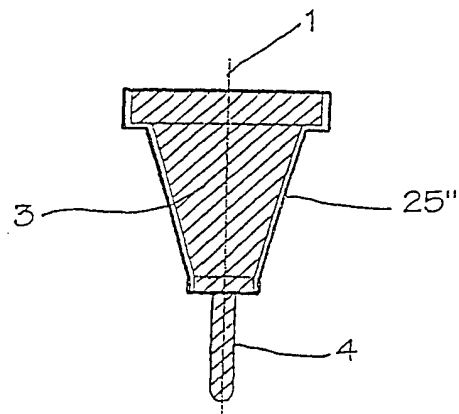


图 10(c)