

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
B23B 3/00 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200680010943.6

[43] 公开日 2008年4月2日

[11] 公开号 CN 101155654A

[22] 申请日 2006.3.30

[21] 申请号 200680010943.6

[30] 优先权

[32] 2005.3.30 [33] US [31] 60/666,674

[86] 国际申请 PCT/US2006/011640 2006.3.30

[87] 国际公布 WO2006/105293 英 2006.10.5

[85] 进入国家阶段日期 2007.9.29

[71] 申请人 费德罗-莫格尔公司

地址 美国密歇根州

[72] 发明人 罗伯特·约翰·尼科尔

迈伦·杰弗里·施门克

[74] 专利代理机构 上海智信专利代理有限公司
代理人 邓琪

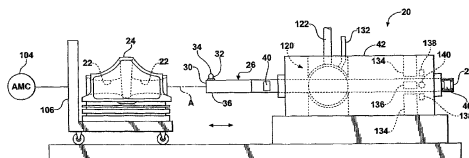
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 6 页

[54] 发明名称

用于形成非圆形孔的混合转子主轴

[57] 摘要

一种机床组件包括用于在工件上形成非常精确的表面轮廓的高速旋转主轴。该主轴围绕其重力中心设于球形空气轴承上。通过结合在所述球形空气轴承中的气涡轮驱动系统，可使该主轴旋转，以消除任何不希望有的围绕垂直于长主轴轴的轴旋转的时刻。通过 X-Y 调节器的影响可在倾斜和偏转方向上调节所述主轴。该 X-Y 致动系统优选为电磁系统，并提供一种在可控方式下以任何速度移动主轴的非接触式方法。



1. 一种具有倾斜和偏转调节主轴的机床组件，用于在工件上形成高精度表面轮廓，该组件包括：

 主轴，界定一长轴并具有从其一端延伸的成形工具，该主轴包括支承轴颈；

 轴颈箱，至少部分地包裹所述支承轴颈以可旋转地支撑所述主轴；

 驱动电机，可操作地与所述主轴相互作用，以强制性地使该主轴绕所述长轴旋转；

 至少一个 X-Y 调节器，用于控制所述主轴的倾斜和偏转，以在非圆形轨道路径上移动所述成形工具；以及

 所述支承轴颈和所述轴颈箱具有同心的、通常为球形的相对表面，该相对表面以与所述主轴的长轴相交的中心点为中心。

2、根据权利要求 1 所述的组件，其特征在于，所述 X-Y 调节器包括磁铁轴承组，该磁轴承组具有至少三个围绕所述长轴、相互间隔的磁铁定子。

3、根据权利要求 2 所述的组件，其特征在于，进一步包括至少一个用于指示所述主轴的倾斜和偏转的位置传感器。

4、根据权利要求 2 所述的组件，其特征在于，所述磁轴承组包括一对反向的 X 坐标磁铁定子和一对反向的 Y 坐标磁铁定子，所述 X 坐标磁铁定子相间隔且通常与所述 Y 坐标磁铁定子共面。

5、根据权利要求 4 所述的组件，其特征在于，该对反向的 X 坐标磁铁定子和该对反向的 Y 坐标磁铁定子位于所述中心点各自相对侧。

6、根据权利要求 1 所述的组件，其特征在于，所述轴颈箱包括空气轴承，用于相对所述支撑轴颈产生空气增压垫。

7、根据权利要求 6 所述的组件，其特征在于，所述轴颈箱是多孔的。

8、根据权利要求 1 所述的组件，其特征在于，所述驱动电机包括气涡轮。

9、根据权利要求 8 所述的组件，其特征在于，所述气涡轮包括设置于所述主轴上与所述支撑轴颈间隔的叶轮。

10、根据权利要求 8 所述的组件，其特征在于，所述气涡轮包括设置于所述支撑轴颈上的叶轮。

11、根据权利要求 10 所述的组件，其特征在于，所述气涡轮由磁性材料

制成，所述 X-Y 调节器包括磁铁轴承组，该磁轴承组具有至少三个邻近所述叶轮、间隔的磁铁定子。

12、根据权利要求 1 所述的组件，其特征在于，所述驱动电机包含于所述轴颈箱中。

13、根据权利要求 1 所述的组件，其特征在于，所述驱动电机设于所述轴颈箱外部。

14、根据权利要求 1 所述的组件，其特征在于，进一步包括旋转位置传感器，用于确定所述成形工具关于所述长轴的角度。

15、根据权利要求 1 所述的组件，其特征在于，所述成形工具终止于围绕所述长轴大致等精确增量设置的多个点状切削边。

16、根据权利要求 1 所述的组件，其特征在于，所述支承轴颈定中心于所述轴承的重心上。

17、一种旋转高速主轴组件以在工件上形成具有尺寸不同的轴向轨道的不规则孔的方法，包括下列步骤：

将径向延伸的成形工具固定在具有长轴的主轴的一端；

以可绕所述长轴旋转的方式支撑所述主轴；

使所述主轴绕所述长轴旋转；

建立影响至少部分所述旋转主轴的磁场；

在所述主轴旋转期间，通过操作磁场调节所述长轴的偏转和倾斜角，以在预定非圆形轨道路径中移动成形工具；以及

所述支撑所述主轴以绕所述长轴旋转的步骤进一步包括将所述主轴限制在球形轴承中，该球形轴承以与所述主轴的长轴相交的中心点为中心。

18、根据权利要求 17 所述的方法，其特征在于，所述支撑所述主轴以绕所述长轴旋转的步骤进一步包括建立空气垫。

19、根据权利要求 18 所述的方法，其特征在于，所述建立空气垫的步骤包括通过多孔轴颈箱将空气注入。

20、根据权利要求 17 所述的方法，其特征在于，所述使所述主轴绕所述长轴旋转的步骤包括转动气涡轮。

21、根据权利要求 17 所述的方法，其特征在于，所述将所述主轴限制在球形轴承中的步骤包括使得该球形轴承以所述主轴的重心为中心。

用于形成非圆形孔的混合转子主轴

参照相关申请

本申请要求申请日为 2005 年 3 月 30 日的第 60/666, 674 号美国临时申请的优先权。

发明领域

本发明一般涉及用来在工件上形成非圆形孔的高速主轴组件。

背景技术

一些生产应用要求形成非圆形的孔。例如，内燃机活塞的制造过程中的销轴或耳轴或销上形成的所谓销孔通常具有朝向中心的微喇叭状开口，以适应活塞销中的弯曲。此外，销孔的喇叭状最优设计为具有微椭圆度，进一步解决活塞在其各周期中运动时活塞销中产生的变形问题。销孔必须形成喇叭状及非圆形截面以满足精确公差要求。例如，这类应用通常要求公差在 3-5 微米范围内。

用于产生这种非圆形孔以符合精确公差规格的工业方法，包括液压驱动铣销加工和电化学加工技术。现有技术还建议采用具有主动磁轴承（active magnetic bearing）的专用机床加工主轴钻非圆形孔。该主动磁轴承基于旋转主轴由位于电磁铁定子产生的磁域中的铁磁材料形成这一原理工作。具有适当功率放大器的控制系统调节所述磁域，以在主轴旋转时将其保持在希望的径向位置。甚至在改变负载状态的情况下，也可保持在径向位置。

当主动磁轴承系统提供异常主轴活动状态时，其生产成本高且难以控制。为获得高动态性能和理想的加工加速度水平，需要提供大型、大功率的磁轴承调节器。而且，如果没有适合的尺寸设计和控制，主动磁轴承系统在某些切削条件下很难适当缓冲。

发明内容

根据本发明，提供一种具有倾斜和偏转调节主轴的机床组件，用于在工件上形成高精度表面轮廓。该组件包括确定长轴并具有从其一端延伸的成形工具的主轴。该主轴包括支承轴颈。轴颈箱至少部分地包裹所述支承轴颈以可旋转地支撑所述主轴。驱动电机可操作地与所述主轴相互作用，以强制性地使该主轴绕其长轴旋转。提供至少一个 X-Y 调节器用于控制所述主轴的倾斜和偏转，以在非圆形轨道路径中移动所述成形工具。所述支承轴颈和所述轴颈箱具有同心的、一般为球形的相对表面，该相对表面以与所述主轴的长轴相交的中心点为中心。

根据本发明的另一方面，提供一种磁性操作高速主轴组件以在工件上形成具有尺寸不同的轴向轨道的不规则孔的方法。该方法包括下列步骤：将径向延伸的成形工具固定在具有长轴的主轴的一端；以可绕所述长轴旋转的方式支撑所述主轴；使所述主轴绕所述长轴旋转；建立影响至少部分所述旋转主轴的磁场；以及，在所述主轴旋转期间，通过操作磁场调节所述长轴的偏转和倾斜角，以在预定非圆形轨道路径中移动成形工具。所述支撑所述主轴以绕所述长轴旋转的步骤进一步包括将所述主轴限制在球形轴承中，该球形轴承以所述主轴的长轴相交的中心点为中心。

因此本发明包括现有技术主动磁轴承系统和固定轴承涉及之间的结合，相比现有系统，本发明允许自由地加工形成孔，且降低了成本，提高了性能。本发明转子主轴优选基于允许 XY 作动系统将围绕重力中心作偏心运动引入主轴中的球形空气轴承。与电磁轴承相比，具有成本优势，因电磁主轴典型地具有 10 个轴以进行控制。然而，本发明的混合转子主轴仅具有 2 个轴以进行控制，也能够产生实质相同的运动。

本发明允许主轴以高度可控方式绕其轴旋转，也可倾斜和偏转。球形轴承的旋转中心可设于所述主轴的重力中心处，以确保主轴的质量对空气轴承有反应，而对 XY 调节器系统没有反应，因此为后续复杂精确轨道提供更好的动力性能。相对于主轴旋转位置控制其倾斜和偏转。通过改变 XY 调节器位置，可绕主轴的加工顶端运行以产生任何自由形式的形状。

在较佳实施例中，电磁 XY 调节器系统提供将主轴置于任何速度的非接触式方法。并提供了几种使主轴旋转的方法，包括气涡轮、电动机或非接触式

旋转连接。在气涡轮实施例中，气涡轮可结合在球形空气轴承中，并因此消除任何该轴垂直于主轴长轴的时刻。如果采用气涡轮，可减小主轴的质量，从而可实现更好的剖面性能和更好的加速时间，以获得所需要的旋转速度。位移传感器为 X-Y 调节器系统的位置提供反馈，并允许轨道被测量。

本发明的孔成形组件通过扩展能够以高速高精度形成的孔形状和构造的可利用范围，特别是立体范围，克服了现有技术的缺点和不足。

附图说明

为便于理解本发明的特征及优点，以下结合附图对本发明进行详细描述，其中：

图 1 是本发明的主轴组件和准备进行孔成形加工的示例性活塞工件的简化主视图；

图 2 是本发明的转子主轴组件的简化剖视图；

图 3 是沿图 2 中 3-3 线的剖视图，描述 X-Y 作动系统；

图 4 是主轴组件的可选视图，其中驱动电机与重心间隔开；

图 5 是主轴组件的可选视图，其中 X-Y 作动系统结合在球形空气轴承中；

图 6 是沿图 5 中 6-6 线的剖视图，展示了同一 X-Y 作动系统；

图 7 是主轴组件的可选视图，其中 X-Y 作动系统结合在气涡轮驱动系统中；

图 8 是沿图 7 中 8-8 线的剖视图；

图 9 是工件中示例性孔几何形状的简化立体图，其中连续轴向变化轨道由成形工具加工而成；

图 10 和 11 举例说明了示例性非圆形孔几何形状，每一孔具有本发明能够形成的不规则负载结构；以及

图 12 和 13 举例说明可选成形工具结构。

具体实施例

参照附图，其中相似数字始终指代相似或相应零部件，高速主轴组件 20 如图 1 和 2 所示。主轴组件 20 是在工件 24 中形成非圆形孔 22 的主轴组件。

在图 1 中，为举例的目的，所示工件 24 仅包括内燃机活塞。非圆形孔 22 作为销孔用以收容所谓活塞销（图未示）。然而，工件 24 可包括任何元件，不限于活塞，发动机，甚至汽车系统。更恰当地，任何领域中的高精度公差非圆形孔 22 的形成均可从本发明受益。

主轴组件 20 包括沿长轴 A 在后端 28 和成形端 30 之间延伸的刚性轴状主轴 26。成形工具 32 从主轴 26 靠近成形端 30 向外径向延伸，并终止于一切削边 34。然而，成形工具 32 的实际切削边 34 可由任何商用形状的可移动的碳化物（或其他材料）顶端构成，点状切削边 34 仅为示例性描述。另一种方式中，成形工具 32 可固定在一通过锥形或螺钉装置安装于主轴 26 上的可移动工具固定装置中。主轴 26 在邻近其后端 28 和成形端 30 处设有扭转面，以便于拆卸成形工具 32 从而进行维护和工具固定装置 36 的替换。

主轴组件 20 还包括壳体 42，主轴 26 的后端 28 和成形端 30 延伸出该壳体 42。主轴 26 通过球形空气轴承装置 120 可旋转地支撑于壳体 42 内。该球形空气轴承装置 120 包括连接至主轴 26 的增大的球形支承轴颈 126，优选与旋转主轴组件的重心一致。无论如何，形成支承轴颈 126 的球形表面的中心位于长轴 A 上。支承轴颈 126 设于轴颈箱内，该轴承箱采用球形轴承杯 128 形式。在支承轴颈 126 和轴承箱 128 的界面注入增压空气，使得主轴轻轻浮起，以进行高速旋转，例如以类似 100,000RPM 的速度旋转。

如图 1-5 所示，通过一个或多个入口 132 将空气注入轴承箱 128 内的独立轴承杯与支承轴颈 126 之间的界面。举例说明分散的入口 132，采用多孔性陶瓷轴承杯即可得到满意的效果。在这种结构中，空气渗入轴承杯，使得支承轴颈 126 轻轻浮起。另一个将空气引入轴承的例子包括形成于轴承箱 128 表面的静液压袋或低压的使用，空气从入口 132 直接进入轴承箱 128。无论采用哪种将空气引入支承轴颈 126 和轴承箱 128 的界面的方法，主轴 16 均由球形轴承装置 120 内的空气垫支撑，在其高速旋转时可摆动。

驱动电机 44，设于壳体 42 内部或外部，起到强制性地使主轴 26 绕其长轴 A 旋转的作用。该驱动电机 44 可为任何已知类型的电机，运行于 AC 或 DC 电流下，可采用液体、气体或任何类型的能源。如实施例所示，驱动电机 44 包括气涡轮。涡轮空气入口 122 将可控增压空气流引入叶轮 124 处。叶轮 124 可围绕球形支承轴颈 126 的圆一体成型，如图 2 和 7 所示。当气涡轮结合进

支撑轴颈 126 时，消除了不希望有的力矩以帮助稳定主轴的高速旋转。流经入口 122 的增压空气作用于叶轮 124，导致主轴 26 在壳体 42 内绕长轴 A 旋转。空气从任何方便的位置排出，例如通过图 2 所示的出口 130 排出。

图 4 举例说明了一可选驱动电机装置 44'。在此，具有入口 122' 的气涡轮装置作用于叶轮 124'，该叶轮 124' 围绕主轴 26 形成于远离球形轴承装置 120 和远离主轴重心的位置。在该实施例中，混合转子主轴组件 20 以同样的方式运行，然而，使主轴 26 高速旋转的驱动机构是不同的。本领域的普通技术人员会联想到其他用作驱动电机的装置，可包括电动机或其他装置。

再参照图 1-5，组件 20 如图所示包括一对 Y 轴调节器 134，该对 Y 轴调节器 134 远离球形轴承装置 120 位于主轴 26 相对侧。类似地，X 轴调节器 136，其方向与 Y 轴调节器 134 垂直，也位于主轴 26 的相对侧。这些调节器 134、136 定向于同一平面内，可选择性地通过适合的控制机构激活，用电磁吸引力驱动主轴 26。通过有意识地、变化地激活调节器 134、136，像力矩臂一样作用，成形工具 34 可被推动在圆形或非圆形可控通道中移动。虽然图中 Y 轴调节器 134 位于通常垂直的平面，而 X 轴调节器 136 位于通常水平的平面，但这并非必须。在某些情况下，需要将其各自轴线定位于相对水平面大致 45° 角的位置。同样，虽然所示为四个调节器 134、136，但采用三个围绕长轴 A 大致等弧度间隔的调节器也可能实现想要的成形工具 34 接合。

位置传感器 138、140 分别与 Y 轴调节器 134 和 X 轴调节器 136 连接。该位置传感器 138、140 将关于主轴 26 的位置的信息以电压的形式馈入。通常，校准这些位置传感器 138、140 使得主轴 26 位于空档位置时，传感器产生零电压。当主轴 26 移动至空档位置之上时，产生正电压。当主轴 26 移动至空档位置之下时，产生负电压。

控制器（图未示）独立控制每一调节器 134、136，以在主轴 26 浮于球形轴承装置 120 内的空气垫上时调整主轴 26 的径向位置。通过由调节器 134、136 控制主轴 26 的位置，成形端 30 可被枢接，从而划出高度可控的非圆形轨道路径。控制器可为集中型，协调来自所有传感器 138、140 的输入，并将输出发送至所有调节器 134、136，以实现所希望的成形端 30 的接合。可选地，控制器可包括分离的元件，独立控制 X 轴和 Y 轴调节器。在后一种结构中，X 轴调节器 136 的一个控制器从 X 位置传感器 140 接收电压信号，用数

学模块来处理该信息,该数学模块包含空间关系例如到切削边 34 的轴向距离和所测量的从长轴 A 到切削边 34 的工具半径,并将电流(或电压)要求发送至一集成或单机放大器。因此,控制器会接收多个输入,也就是来自 X 平面的每个传感器的输入,并将多个输出输出至 X 平面的所有调节器 136,从而动态控制主轴 26。

X 轴控制器可包括反锯齿滤波器、模-数转换器、数字信号处理器和脉宽调制发生器。来自位置传感器 136 的电压会通过反锯齿滤波器消除信号中的高频噪声。去除高频内容后,位置信号由模-数转换器采样,该模-数转换器将电压信号转换为数字信号处理器可处理的形式。而后,将该数字信息通过数字滤波器滤波,产生与根据预定值校正或调整主轴 26 位置所需的电流(或电压)量成比例的输出。将该所需电流与提供给调节器 136 的实际电流相比,该实际电流也被发送、滤波并由模-数转换器采样。实际和所需电流之间的误差用于说明发送至放大器的脉宽调制信号的特征。此后,该信息被发送至脉宽调制发生器,该脉宽调制发生器产生发送至放大器的该脉宽调制波形。Y 轴控制器以类似的方式工作,从 Y 位置传感器 138 接收多个输入信号,并将多个校正动作通过输出发送至 Y 轴调节器 134。适合控制系统的详细描述可见本申请的受让人于 2005 年 2 月 24 日申请的 USSN11/065,618,其所揭露的内容可在此作为参考。

旋转位置传感器(图未示),采用旋转编码器的形式,将结合于主轴组件 20 中,用于确定主轴 26 的角位,并因此确定长轴 A 周围成形工具 32 的角位。旋转编码器会与控制器通信,从而实现调节器 134、136 的协同调整。

如图 1 所示,轴向运动控制器 104 在大致平行于长轴 A 的方向上相对工件 24 移动成形工具 32,该成形工具 32 同时形成非圆形孔 22。同时,X-Y 控制器 104 操作调节器 134、136,因此在尺寸上改变工件 24 中孔 22 的轴向轨道。轴向运动控制器 104 能够通过保持工件 24 固定、调动主轴组件 20 来工作,或者如图 1 所示,可包括相对一固定的主轴组件 20 被移动的工件固定装置 106。可选地,两个元件可相对一固定参考点同时被移动。

图 5 和图 6 举例说明了调节器 134'、136' 的可选结构,其中调节器 134'、136' 结合在球形轴承装置 120 中。这些一体的调节器 134'、136' 响应嵌在支承轴颈 126 中的永久环形磁铁 142(或钢环)。调节器 134'、136'

因此在准确控制时刻于支承轴颈 126 内产生准确控制大小的扭矩，从而在切削工具 32 中实现预定轨道路径。

图 7 和 8 举例说明了另一种调节器 134”、136”，其中气涡轮 124”被增大，并由磁性材料制成。在此，X-Y 调节器 134”、136”设于轮缘状涡轮 124”的相对侧，并相互作用以在主轴 26 内产生可控的摆动。本领域的普通技术人员同样可联想到具有调节器和驱动电机特点的其他可选结构。

与连续变化轨道路径相联系的轴向或纵向运动的结合能够产生几何学上复杂的形状，例如图 9 所示。在此，如图所示放大的孔 22 在工件 24 开口处具有大致椭圆的剖面，其中该椭圆具有大致垂直的长轴 108。当孔 22 向工件 24 内部延伸时，椭圆的尺寸减小，而长轴 108 被顺时针方向旋转。这由中点 110 处的虚椭圆界面表示。当孔 22 继续向工件 24 内深入时，孔 22 的形状增大，而长轴 108 继续顺时针旋转直到达到终点 112，此时椭圆形状的长轴 108 大致水平。工件 24 中孔 22 的复杂的、尺寸上变化的轴向轨道不限于图 0 所示实施例结构。图 10 举例说明了 2 叶凸轮状的非椭圆、不规则孔 22’。图 11 举例说明了多叶状孔 22”。本领域的普通技术人员可理解可采用本发明主轴组件 20 和控制器的多输入-多输出策略加工出几乎无穷种形状。

图 12 和 13 举例说明了成形工具 32’ 的各种可选方式，其中可采用 2 个或多个切削边 34’。可选地，切削边 34”可连续重复于成形端 30”周围。在另一种实施例中，切削边可采用磨削盘或研磨轮（图未示）的形式。

虽然已结合传统理解中孔的形成对本发明的示范性实施例进行了描述，但本领域普通技术人员可以理解这些新颖的技术可在外部表面上执行。于是，可通过对成形工具 34 进行简单直接的修改，在外部表面上实现非圆形表面的成形。因此，本发明可预期一种表面成形方法和装置，与在要求具有尺寸变化轨道的非圆形的孔和外部部件上实施具有相同的效果。

很明显，根据以上描述可以对本发明做各种改变和修改。例如，以反转的方式采用上述方法，也可能在相对大的轴向进程上产生特殊圆形、高度圆柱孔。采用上述方法的另一个例子中，切削工具可由磨削工具替换，以产生新颖的高精度磨具。因此，可以理解，除上述特定实施例外，本发明可以其他方式实施，而限于上述说明书中所描述。

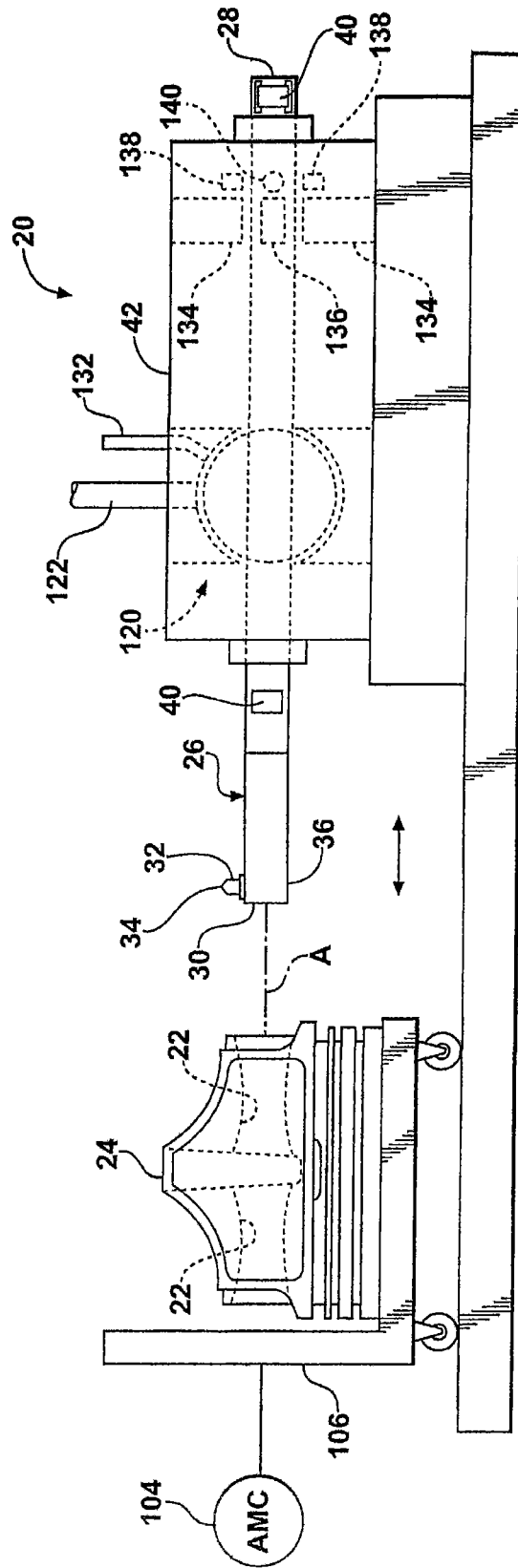


FIG - 1

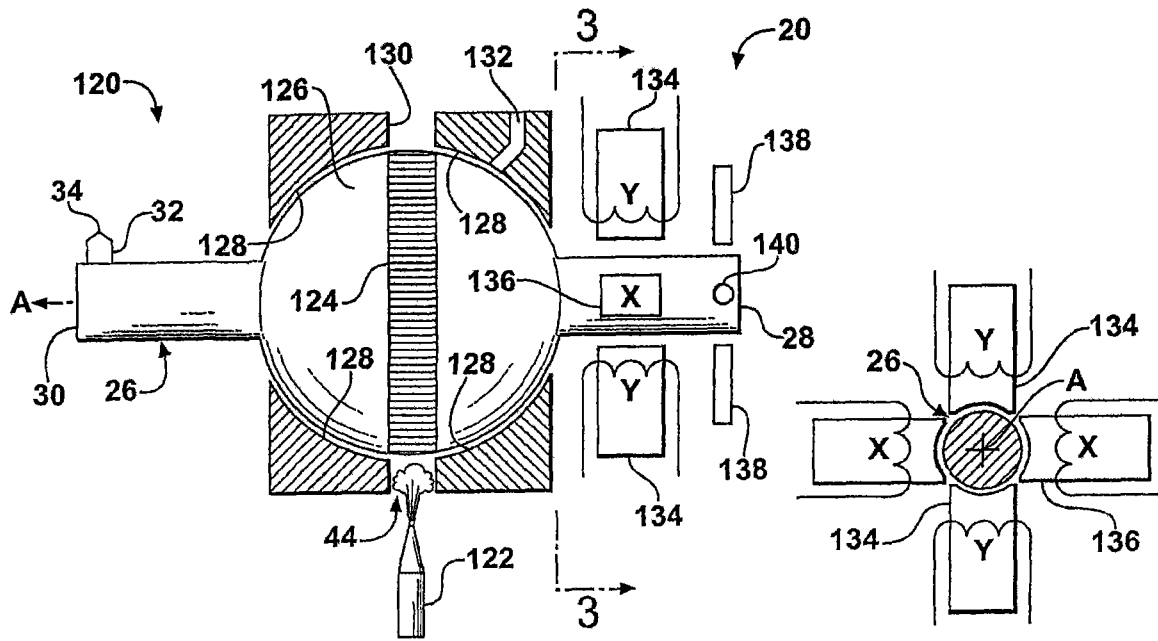


FIG - 2

FIG - 3

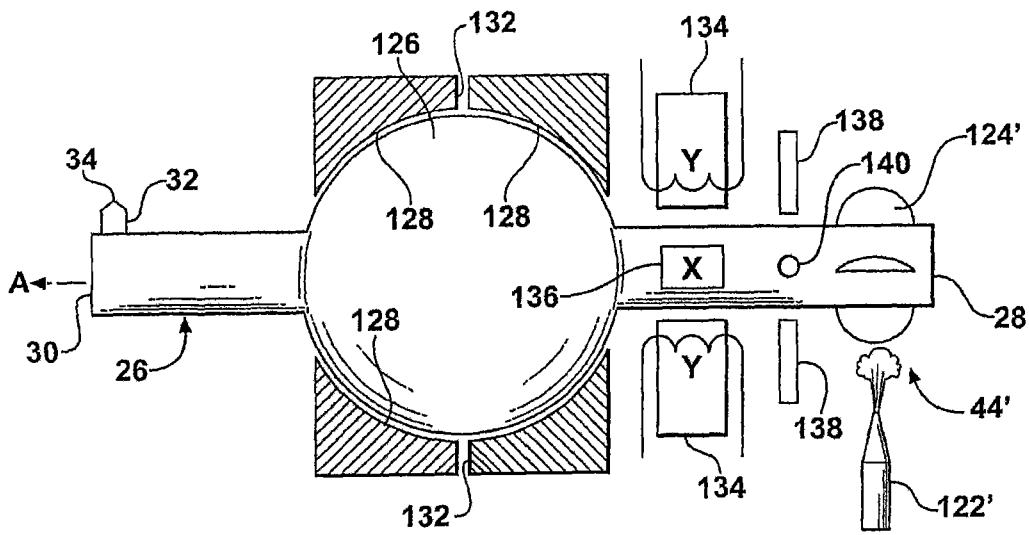


FIG - 4

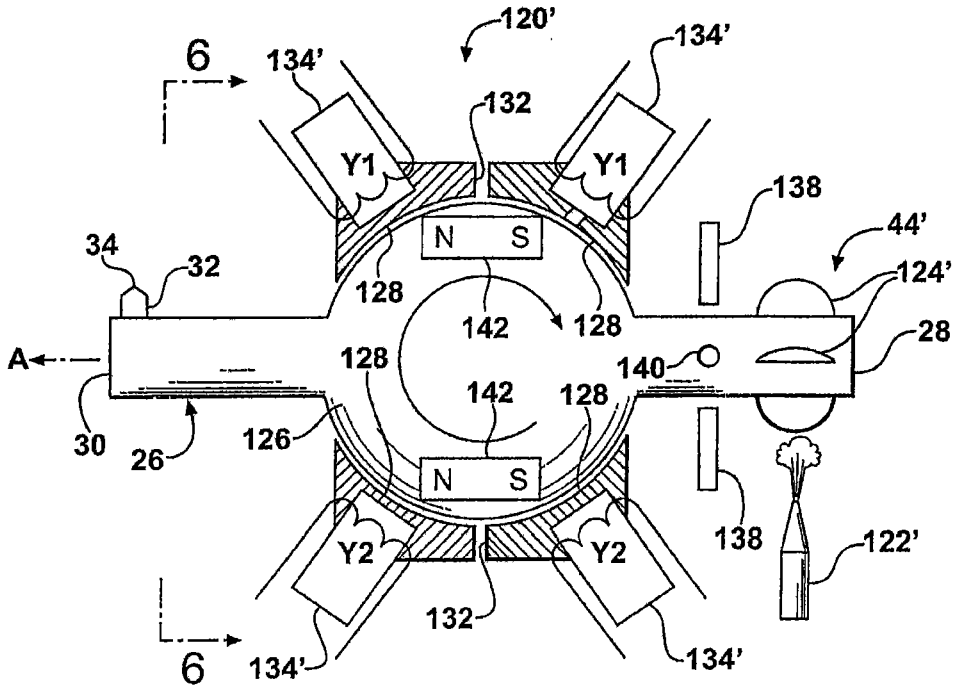


FIG - 5

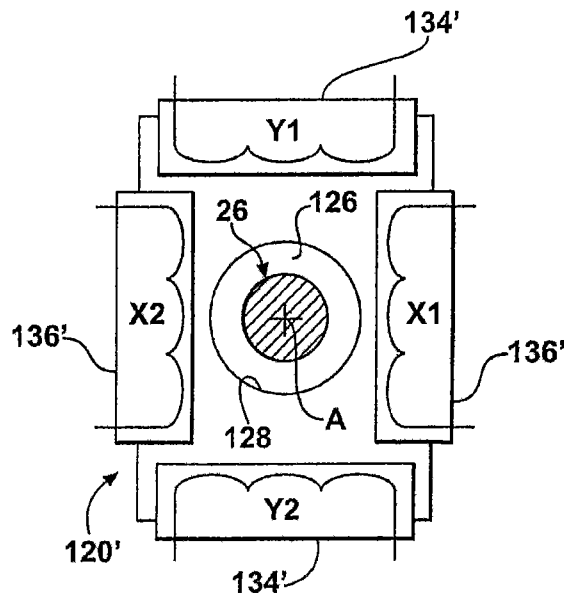
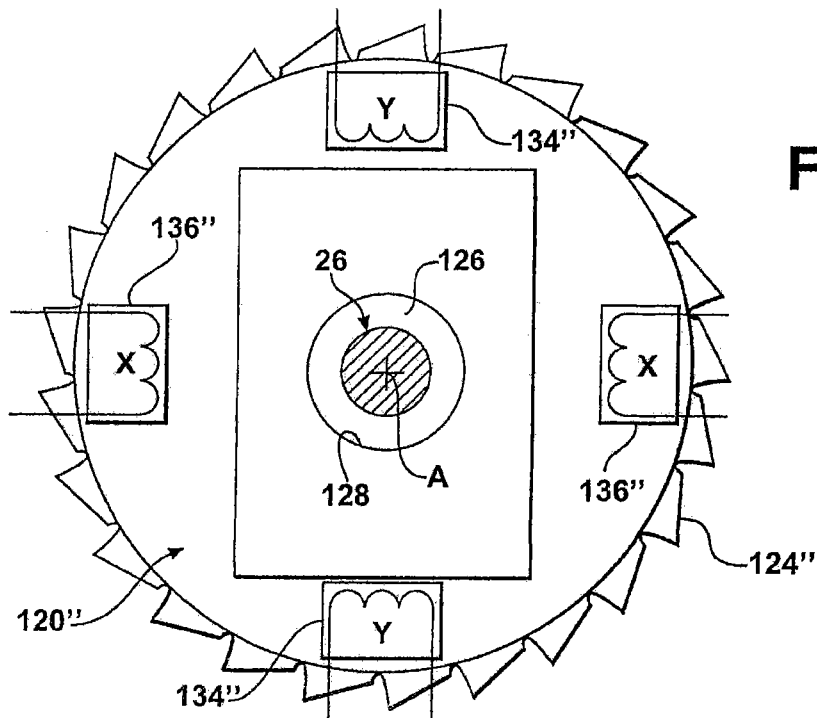
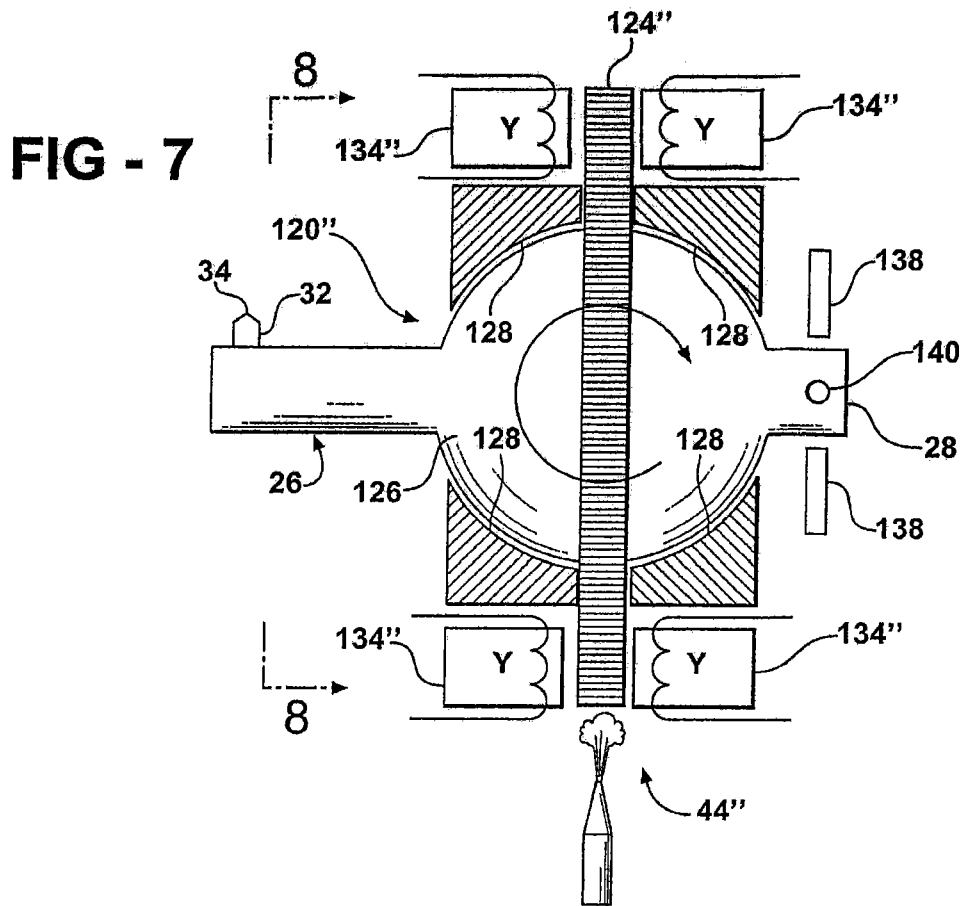


FIG - 6



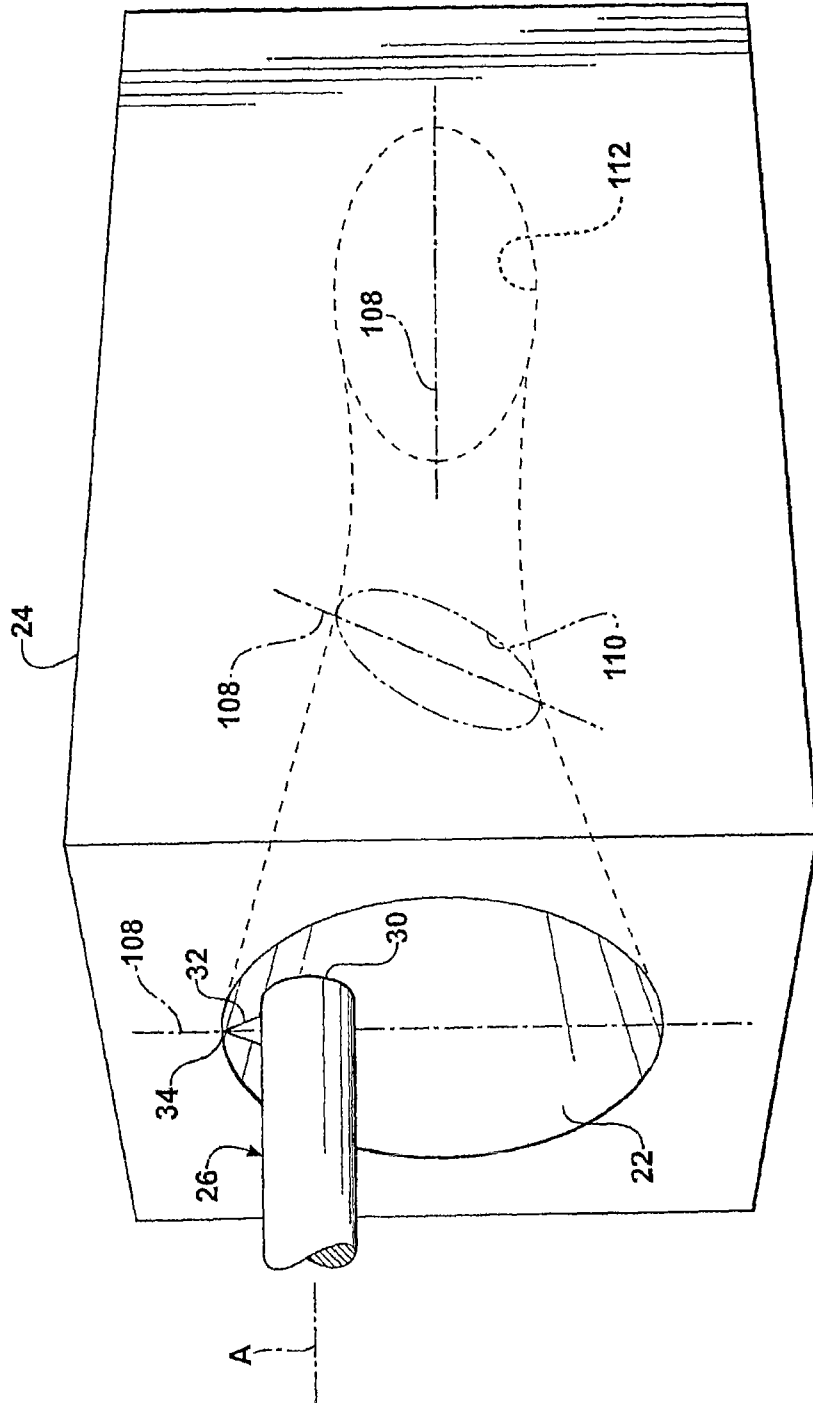


FIG - 9

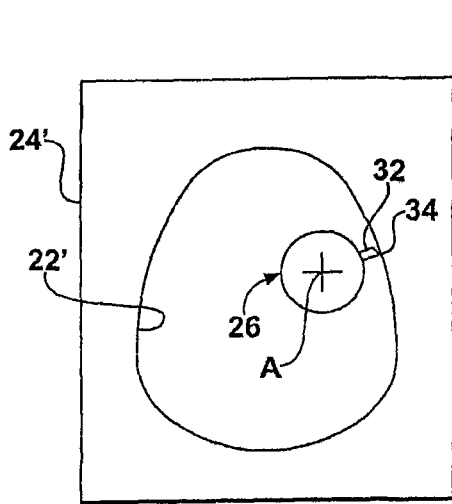


FIG -10

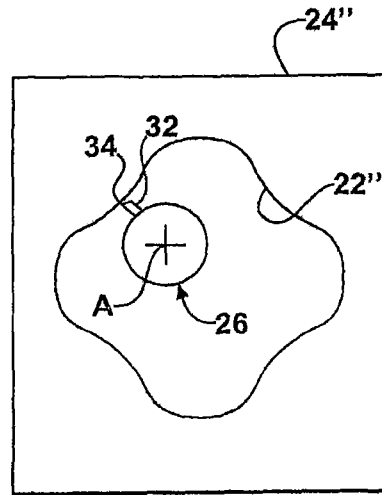


FIG -11

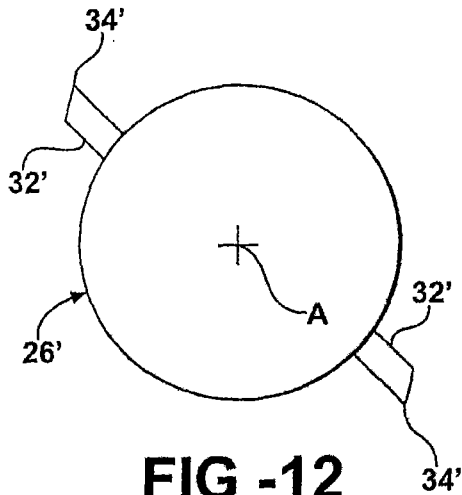


FIG -12

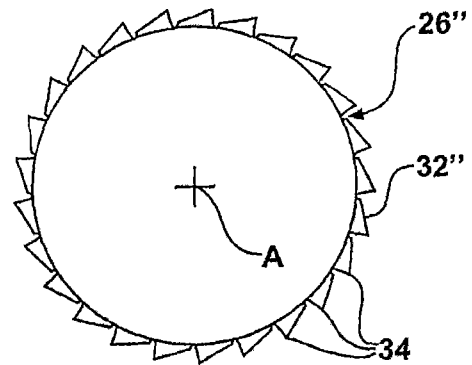


FIG -13