

端面摇摆式微型电机研究*

梁静秋 姚劲松

(中国科学院长春光学精密机械研究所 长春 130022)

摘要 提出了一种低速大力矩的微型电磁电机——端面摇摆式微型电磁电机。其工作原理为:在旋转电磁力的作用下,电机锥形转子在定子的内锥面上作纯滚动,从而产生输出轴的转动。我们采用精密机械的精细加工技术制作了外径为 $\Phi 5\text{mm}$ 电机样机。经测试,其转速范围为 $20\sim 860\text{r/min}$,扭矩输出大于 $10\mu\text{Nm}$ 。实验结果表明,这种微型电机在相同的输入功率下,比同体积的其他电机有更大的力矩输出,因此具有广泛的应用前景。

关键词 端面摇摆 微型电磁电机 微电磁驱动器

中图分类号 TM384 **文献标识码** A

1 引言

微电子机械系统主要由微驱动器、微传感器、微执行器以及微能源等几种技术组成。而以微电机为代表的微驱动器在微机械系统中起着举足轻重的作用,这不仅因为它是微机械系统的一种重要的驱动源,而且微电机本身即为一种典型的机电一体系统。所以从微机械诞生的那天开始,对微电机的研究一直是微电子机械系统研究的焦点课题。鉴于微电机在微机械领域中的重要地位和在此近期内开发为可用产品的可能性,对微电机的研究无论在理论上还是在实际应用上都具有十分重大的意义。

同时,在微电机研究中一个值得注意的动向是,过去研究人员的主要工作集中在缩小微电机的尺寸上,对于微电机的动力性能考虑得不多。目前,人们已经开始把主要精力放在提高微电机的性能上,并围绕这一目标开展微电机的基础理论、测试手段及制造工艺等各方面的工作,这种从实用观点出发的研究方向将更有利于加速微电机实用化步伐。

* 国家攀登计划 B 资助项目

收稿日期: 1999-05-20

修稿日期: 1999-06-11

基于对各类电机性能的充分分析、比较及对电磁式微电机的工作原理和结构方案的深入研究, 我们提出了端面摇摆式微型电磁电机的设计思想, 该方案在工作原理上最大可能地避免了摩擦问题, 在相同的输入功率下, 比同体积的其他电机有更大的力矩输出; 在结构上采用叠层式设计, 使得利用平面工艺的批量化制作成为可能。其鲜明特点是: 低速与大扭矩。本文将详细介绍这种微电机的工作原理和特点。

2 工作原理及特点

图 1 和图 2 分别为端面摇摆式微型电磁电机的电磁原理图和结构原理图, 它们分别反映了这种电机的电磁致动原理和结构方案组成原理。从这两个图可以看到, 该电机的定子是一内表面为锥面的圆柱体, 它的工作表面是其内锥面。转子是一个锥体, 工作表面是其外锥面。定子的内锥面和转子的外锥面有一共同的锥顶, 它们的锥角存在一定的差值 α 。在定子内部均匀地排放着几组线圈。当我们对定子内的平面线圈顺序加电时, 将在定子内产生一个旋转磁场。在该磁场所产生的旋转电磁力的作用下, 锥形转子将在定子的内锥面上作圆周纯滚动, 由此使转子产生一个与摆动方向相反的转动。

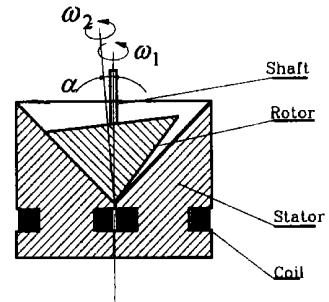
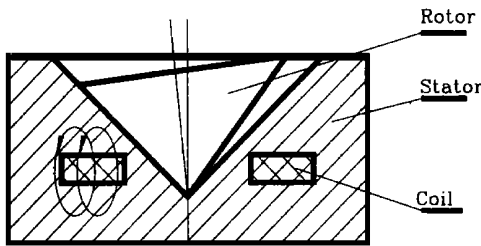


Fig. 1 The electromagnet principle of the top face sway micro electromagnet driver Fig. 2 The fabrication of the top face sway micro electromagnet driver

从以上分析可以看出, 锥形转子的运动包括两个方面: 一是转子绕其瞬时轴的旋转, 另一方面是转子相对于锥顶的摆动。位于转子与输出轴之间的联轴器结构将吸收掉转子的摆动, 而将其旋转运动耦合输出。

从以上工作原理分析我们可以看到这种形式的电磁驱动器具有以下特点:

(1) 该驱动器是利用法向电磁力来使转子产生旋转运动的, 因而转子的输出扭矩取决于线圈的法向电磁力大小及其综合作用半径。由于这种电机结构充分利用了微电机的有限径向空间以提高线圈电磁力的作用半径, 因而可以肯定在相同的尺寸和输入功率下, 这种驱动器可产生更大的扭矩输出。

(2) 该电机利用转子与定子间的摩擦力使得锥形转子可以在定子内锥表面上作纯滚动, 这种对摩擦现象的巧妙利用有效地降低了转子输出扭矩的能量损耗。

(3) 其它形式的大多数微电机的特点是转速比较高而扭矩较低。为使微电机能够在 MEMS 中得到实际应用, 在需要低转速的场合必须给该电机配上一个减速器, 一方面使输出

转速降下来以便满足机械系统的使用要求;另一方面提高电机的输出扭矩,使之能够驱动与之联接的机械系统。但是,在微机械的环境下,制造一个减速器,尤其是大降速比的减速器是非常困难的,即使能够制造出来,减速器的体积也将是相当大的。在这种情况下,即使微电机的体积较小,整个驱动系统(电机+减速器)的体积也还是比较大,不利于在微机械系统中实际应用。

而端面摇摆式微型电磁电机从旋转磁场的运动到锥形转子的转动是以行星减速器的传动方式进行的,行星减速器的特点是具有大降速比,因而该电机转子的转速是比较低的。在输出功率一定的条件下,低转速意味着大扭矩。该电机巧妙地将电磁致动与行星减速这两种机制结合在一起,实现了低速大扭矩的优越性能。由于这种驱动器不需要减速器,更有利于在微系统中作为动力源使用。

总之,端面摇摆式电磁驱动器的突出特点为:法向电磁力工作,锥形转子摇摆行星减速。低速,大力矩。

3 端面摇摆式微型电磁电机设计及制作技术研究

普通电机的设计方法与制作工艺已十分成熟,但因其微型化而产生了許多新的矛盾。诸如传统电机定子制造工艺是把绕组嵌放在定子冲片槽内,这显然不适合微细加工工艺。所以虽然微机械电磁电机仍然是基于传统电机的原理,转动是靠线圈产生的电磁力来驱动的。但是由于其尺寸很小,电机结构设计,材料选择,线圈制作和装配技术等等都必须重新考虑。

3.1 端面摇摆式微型电磁电机的结构设计

在电机的结构设计中,需要确定二个重要的结构参数:定子内锥面的锥角 β 和锥形转子的摆角 α 。当定子内锥角 β 和转子摆角 α 不同时,定子与转子之间的有效磁隙不同,线圈与转子之间的电磁力也必然不同。适当地选择定子内锥角 β 和转子的摆角 α ,就可以正确地控制定子与转子之间的磁隙使它们之间的电磁力达到最大值。这样,在其它结构参数相同的情况下,便可以最大限度地提高电机的输出力矩。我们简述一些重要结构以便说明我们的问题。一旦确定了这两个结构参数的具体数值,在电机总体尺寸一定的前提下,电机各个零件的其它各部分尺寸都可在机械结构设计中得以确定。

3.2 微型驱动器制作工艺

微型机械是伴随着大规模集成电路制作技术的迅速发展和成熟而产生的,所以在对微机械的研究过程中,人们对其加工技术的研究始终给予高度的重视,可以说没有现代微加工技术,就没有微机械。

目前,经常用于微电机制作的微加工技术主要有以下几种:即 IC 工艺、LIGA 工艺及精密机械的精细加工工艺。这三种工艺各有其特点。IC 工艺属于较为成熟的技术,适合于大批量生产,但用于高深宽比的三维构件的制作还有较大难度;LIGA 技术在高深宽比三维微结构的批量制作方面有其优越性,但目前工艺还不够成熟,而且成本偏高;精密机械的精细加工方法虽然在进一步微型化方面有一定局限性,但这种工艺较为成熟,特别在毫米及亚毫米尺度、高深宽比,并且纵向结构较为复杂的某些微构件制作方面,这种工艺有其独到的优越性。根据端面摇摆微电机的特点,我们选择了这种制作工艺。

图 3 为我们以精细加工方法为主制作的 $\Phi 5\text{mm}$ 样机。我们采用特殊加工的刀具、夹具, 选择特定的工艺参数并利用一定工艺技巧, 完成了端面摇摆式微型电磁驱动器定子、线圈及锥形转子的制作。并且摸索出适用于这种驱动器的微装配方法。

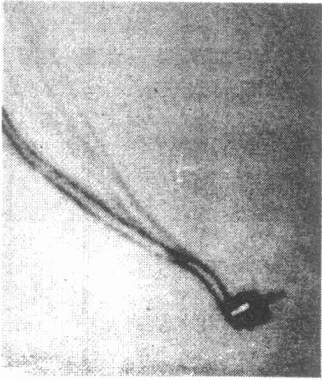


Fig 3 The outlook of the prototype of the machine

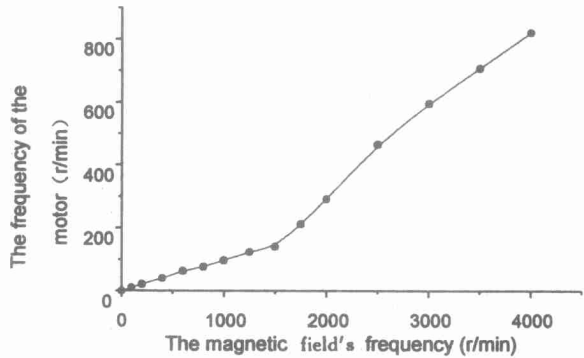


Fig 4 The frequency characteristic of the motor

3.3 端面摇摆式微型电机转速测试

图 3 所示的 $\Phi 5\text{mm}$ 微电机样机的输出频率范围在 20860r/min。测试得到的输出频率与磁场频率的关系曲线如图 4 所示。由此关系曲线可以看出, 电机的输出频率随磁场频率的增加而增加; 并且随着磁场频率的增加, 电机输出频率的增加幅度有所提高。这是由该电机的结构所决定的。同时, 微扭矩测试结果表明, 该样机的输出扭矩值大于 $10\mu\text{N}\cdot\text{m}$ 。

4 结 束 语

端面摇摆式微型电机是一种新型电磁电机。我们对这种电机的设计、制作及初步测试表明了该电机具有体积小、重量轻、低速和大力矩等优良特性。作为微机械的核心单元之一, 它将在机器人、空间(和军事)探测器、医疗器械及医疗仪器的小型化过程中起重要作用。

参 考 文 献

- 1 Ahn Chong H, Kim Yong J, Allen Mark G. A Planar Variable Reluctance Magnetic Micromotor with Fully Integrated Stator And Wrapped Coils. IEEE, Mechanical Systems Workshop, 1993. 1~ 6
- 2 Ahn G H, Allen M G. A fully integrated micromagnetic actuator with a multilevel magnetic core. Digest, IEEE Solid State Sensor and Actuator Workshop, Hilton Head, SC, June 1992. 1418
- 3 Guckel H, Skrobis K J, Christenson T R, Klein J, Han S, Choi S, Lovell E G, Chapman T W. Fabrication and Testing of the Planar Magnetic Micromotor. J of Micromechanics and Microengineering, 1991, 1(4): 135~ 138
- 4 Wagner B, Kreuzer M. Linear and Rotational Magnetic Micromotors Fabricated Using Silicon Technology. IEEE, Micro Electro Mechanical Systems, 1992. 183~ 189
- 5 Guckel H, Christenson T R, Jung T S, Klein J, Hartojo K V, Widjaja I. A first functional current exited planar

rotational magnetic micromotor. IEEE, MEMS Workshop, 1993. 711

- 6 吕琼莹, 车录峰. 微型电磁驱动器. 仪器仪表学报, 1996, 17(1): 346~ 350

Study on the Top face sway Micromotor

LIANG Jing Qiu, YAO Jir Song

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

Abstract

This paper advances a kind of micro electromagnet motor with low rotational speed and high torque output: top face sway micro electromagnet motor. It's working principle is as following: under the rotating electromagnet's force, the motor's cone shape rotor makes pure rolling on the inner cone face of the stator and thus the output axle's rotation comes into being. Through testing, it's rotation ranges is 20~ 860rpm with larger than 10 μ Nm torque output. The result of the experiment show that with the same input power, this kind of micromotor has larger torque output than others' with the same volume. It has a wide application prospect.

Key words: Top face sway, Micro electromagnet motor, Micro electromagnet drivers

梁静秋 女, 1984年毕业于吉林大学电子科学系半导体物理与器件专业, 获学士学位。曾从事半导体工艺、器件及微型传感器等研究工作。自1993年开始参加微型机械领域研究工作。现任国家攀登计划B《微电子机械系统》子课题“端面摇摆式微型电磁驱动器(马达)设计、制造及其应用研究”课题负责人。