

微观世界中的机械

贾育秦 王培霞

(太原重型机械学院 030024)

微型机械加工或称微型机电系统是集微型机构、微型传感器、微型执行器以及信号处理和电路、甚至外围接口、通讯电路和电源等于一体的微型器件或系统。其主要特点有:体积小(特征尺寸范围为:1 μ m~10mm)、重量轻、耗能低、性能稳定,惯性小、谐振频率高、响应时间短。

1. 微型机械的概念

机械制造的精度及所加工对象的精细程度都已越过微米、亚微米级的区域,正在向纳米、亚纳米级逼近。现代超精密加工(包括微细加工)发展的前锋已经与原子物理学接壤。加工精度的进化,制造工程技术人员需要进入物理的微观世界,直接与少量的、甚至单个的分子、原子打交道。

目前已有大量的微型机械或微型系统被研究出来,例如:尖端直径为5 μ m的微型镊子可以夹起一个红细胞;尺寸为7mm \times 7mm \times 2mm的微型泵流量可达250 μ l/min;尺寸为50~500 μ m的齿轮、转子直径为60~12 μ m利用静电驱动的微型电机;研制出数厘米见方的微型车床可加工精度达1.5 μ m的微细轴;一维、二维联动压电陶瓷驱动器,其位移范围为10 μ m \times 10 μ m,位移分辨率为0.01 μ m,精度为0.1 μ m。可在磁场中飞行的机器蝴蝶,以及集微型速度计、微型陀螺和信号处理系统为一体的微型惯性组合系统。利用光刻电铸工艺,制成了悬臂梁、执行机构以及微型泵、微型喷嘴、湿度、流量传感器以及多种光学器件。在飞机翼面粘上相当数量的1mm的微梁,控制其弯曲角度以影响飞机的空气动力学特性。把微型传感器(机械部分)和集成电路(电信号源、放大器、信号处理电路等)一起集成在硅片上3mm \times 3mm的范围内的微型机电一体化系统等。

2. 微型机械加工中的关键技术

当一个系统的特征尺寸达到微米级和纳米级时,将会产生许多新的科学问题。例如随着尺寸的减少,表面积与体积之比增加,表面力学、表面物理效应将起主导作用,传统的设计和分析方法将不再适用。微摩擦学、微热力这类问题在微系统中将至关重要。微系统尺度效应研究将有助于微系统的创新。

微系统建模技术 微小型化的尺寸效应和微小型理论基础研究也是设计研究不可缺少的课题,如力的尺寸效应、微结构表面效应、微观摩擦机理、热传导、误差效应和微构件材料性能等。

微细加工技术 主要指高深度比多层微结构的硅表面加工和体加工技术,利用X射线光刻、电铸加工技术、微电火花加工、能量束加工等。

微型机械组装和封装技术 主要指材料的粘接、硅玻璃静电封接、硅硅键合技术和自对准组装技术,具有三维可动部件的封装技术、真空封装技术等。

自组织成形工艺 模仿生物的生长发育过程,让材料通过自组织作用,自动生长成为所要求形状。以超分子的自组织实验模拟生物自组织生长过程,制备三维网格,并以生物酶对之进行加工和修饰;并可对形状和尺寸进行控制的方法。

3. 微机械中的尺度效应

微观世界绝对不是宏观世界的比例缩小,以巨人与普通人的尺度效应为例:假定巨人身长是普通人的12倍,臂膀重量是普通人的 $12^3=1728$ 倍;举起臂膀时其重心升高的距离是普通人的12倍;举起臂膀一次所做的功是普通人的 $12^4=20736$ 倍;巨人肌肉的牵引力是普通人的 $12^2=144$ 倍;肌肉的牵引距离是普通人的12倍;做功的能力是普通人的 $12^3=1728$ 倍。如果是按比例放大的话:“巨人”将虚弱不堪,其活动能力只有普通人的1/12,而且,“巨人”大到一定的程度,根本就举不起自己的臂膀。大动物决不是小动物的比例放大,河马的骨骼比鼯鼠要粗壮得多。

为什么灰尘可以漂浮在空中,根据尺度效应,设球半径为 R ,重力正比 R^3 ,浮力正比于 R^2 ,当 R 不断下降时,重力下降较快,浮力下降较慢;当 R 下降到一定程度时,浮力就会占上风。由此可见,大事物不是小事物的比例放大;更不能以为小事物是大事物的比例缩小。

当物体尺寸缩小到一定范围时,许多物理现象将和宏观世界有很大区别,这时力的尺寸效应和表面效应将在微观世界起重要作用。在微型机械领

现代物理知识

域, 由于与特征尺寸 L 的高次方成比例的惯性力和电磁力(L^3) 等的相对作用减少, 而与尺寸 L 的低次方成比例的粘性力和弹性力(L^2) 的作用、特别是表面张力(L^1) 和静电力(L^0) 的作用相对增大, 因而表面张力和静电力将成为起主导作用的力, 这也就是微型机械常以静电力和表面张力作为驱动力的原因所在。随着尺寸的减小, 物体表面积(L^2) 与体积(L^3) 之比相对增大, 因而热传导、化学反应的速度加快, 表面间的摩擦力显著加大, 这些都给微型机械的研究与开发带来不可忽视的影响。

4. 微观世界中的机械特性

微型机械与一般常规机械相比, 不仅是体积的缩小, 而且在工作机理、材料特性、加工技术、测量方法、控制手段、联系方式等方面都发生了巨大变化。因而它具有如下显著特点。

在微型机械中, 所有几何变形都将是分子级的, 如此之小的变形量使得结构内部的应力与应变之间的线形关系不复存在。诸如胡克定律等宏观领域中的科学定律将失去它们的指导意义。

在宏观机械中, 通常摩擦时会受到较大压力的作用, 使材料表现产生塑性变形。但在微型机械中, 由于运动物体质量很小, 由此产生的压力很轻, 零件表现变形在材料弹性范围内, 这时摩擦表面的摩擦力主要是由表面之间的分子相互作用力引起的, 而不是由载荷的压力引起的。所以要研究微型机械的摩擦现象, 就必须研究和探索材料表面原子和分子层的物理和化学性质, 即研究“微摩擦学”或“纳米摩擦学”的内容。

微型机械的发展有赖于人们能够实现原子级尺寸微结构的分辨与加工能力, 即应该具备纳米级精度的检测和控制手段。由此就必须发展基于新原理新技术的检测和控制设备。诸如扫描隧道显微镜、原子力显微镜、摩擦力显微镜、表面力仪、石英晶体微天平等新仪器和新设备就是微型机械制作中的有力武器。

以静电为动力的微执行器利用静电间的吸引力, 改变极板间的电压就可推动某一极板运动; 利用压电材料的逆电效应也可产生机械运动, 通过改变压电材料上的电压, 可以使材料产生伸缩效应而作机械运动; 电磁驱动主要是利用洛仑兹力, 当微结构上的线圈通电流后, 在磁场作用下, 它将受到洛仑兹力的驱动作用, 从而产生机械运动。利用电磁力驱动的微阀门, 可产生 $2\mu\text{N}$ 的力和大于 $100\mu\text{m}$ 的位移。

5. 微型机械研究中的新现象、新规律、新困难

当制造活动由宏观领域进入到物理的微观世界时, 会遇到新现象、新规律、新困难。“均匀连续”“各向同性”以及“线性化”等假设, 在纳米尺度上将不再成立。一些宏观的物理量, 如弹性模量、摩擦系数、密度、温度等, 已失去意义, 或者需要重新定义。在这一尺度上, 固体甚至不再具有确定的“表面”。欧几里德几何、牛顿力学、宏观热力学和电磁学也不再能正确无误地描述纳米尺度上的工程现象和规律……制造工程师们在纳米或亚纳米尺度上碰到的是一个十分陌生的世界和一堆十分棘手的问题与困难。他们需要向物理学家、化学家学习, 与物理学、化学实行学科交叉。将各种物理的、化学的、生物的现象和其他学科的研究成果综合运用到微型机械的研究之中。

(山西省自然科学基金资助项目(20021068))



欧洲将启用超大功率强子对撞机

据俄通社-塔斯社莫斯科

2004年4月29日报道, 俄罗斯与欧洲核子研究中心共同研制

的最大功率基本粒子加速器将在2005年启用, 这一消息是当天欧洲科学研究委员会代表菲利普·贝斯坎在接受俄塔社记者采访时说的。

贝斯坎强调, 俄罗斯企业和科学家参与合作的大型强子对撞机已成为现实, 俄方提供了发现粒子的必需装置, 该装置能在单晶体基础上产生粒子。

贝斯坎还指出, “大型强子对撞机将拥有巨大功率, 我们可以尝试发现最小的粒子, 在此之前无法查明这些粒子。我相信, 欧洲核子研究中心与俄罗斯的合作将只会更加活跃, 因为俄罗斯科学家很早就已研究这项计划, 我们已经安排了与俄罗斯杜布纳核联合研究所友好交流。”

新型超大功率加速器能帮助科学家深入了解物质的结构, 寻找像暗物质或宇宙隐藏的质量性质以及宇宙是否具有反物质这类问题的答案。现代科学很想弄清楚, 我们的宇宙在大爆炸之后刚诞生时是怎样的。俄罗斯科学家认为, 大型强子对撞机能发现新的能量形式, 但是在物理学中完全有可能推翻关于粒子相互作用与物质结构的概念。也不排除这样的可能性, 现有的关于物理学与地球的概念会发生非常大的改变。

(周道其译自俄通社-塔斯社莫斯科消息)