

烧结 NdFeB 永磁体材料的加工方法 *

李 丽 张建华 牛宗伟 任生峰 徐明刚

山东大学

摘要:介绍了烧结 NdFeB 永磁材料的几种特种加工方法,并提出了一种适合于加工该材料的新型高效复合加工方法:超声振动—间隙脉冲放电—磨削复合加工法。

关键词:烧结 NdFeB, 复合加工, 超声振动, 间隙脉冲放电, 磨削

Processing Method of Sintered NdFeB Permanent Magnet Material

Li Li Zhang Jianhua Niu Zhongwei et al

Abstract: Several special machining methods of sintered NdFeB permanent magnet material are introduced. A new, suitable and efficient combined machining method—ultrasonic-intermittent pulse discharge-grinding machining method is also presented.

Keywords: sintered NdFeB, combined machining, ultrasonic vibration, intermittent pulse discharge, grinding

1 引言

烧结 NdFeB 永磁材料具有高强度、高硬度和高脆性等特点,属于典型的难加工材料。烧结成型的 NdFeB 坯料需经过加工才能进入工程应用,由于该材料的低塑性,加工时易脆性破坏或产生微裂纹,加工方法选择不当还会引起工件表面层组织的破坏,因此使得烧结 NdFeB 永磁材料的加工十分困难且加工成本很高(有资料表明:硬脆材料的加工费用占总费用的 30% ~ 60%,有时甚至高达 90%)。目前烧结 NdFeB 永磁材料因其优异的性能而被广泛应用于现代通讯、医疗器械、仪器仪表、计算机、电机、汽车、国防、军工、航空航天等产业以及高科技领域,因此,对 NdFeB 永磁材料加工方法的研究具有重大的经济、技术和社会效益。

2 加工方法

烧结 NdFeB 永磁材料属于典型的难加工材料,采用常规的加工方法很难对它进行有效的加工,而且对它的特殊加工方法和工艺的研究并不多见。目前有资料报导的特种加工方法包括超声波加工、电火花加工和激光加工,复合加工鲜见报道。

2.1 超声波加工

超声波是频率超过 16000 赫兹的声波,它能在气、液、固三种介质中传递,而且传递的能量很强。当超声波经过液体介质时,将以极高的频率压迫液体质点振动,在液体介质中连续地形成压缩和稀疏区域,由此产生液压冲击和空化现象。由于这一时

间很短,液体空腔闭合压力可达几十个大气压,将产生巨大的水压冲击。这一脉冲压力作用在邻近的零件表面上而使其破坏,引起固体物质分散、破碎。超声加工是适合于硬脆性材料加工很有效的加工方法,在很多种情况下可以说是唯一的加工方法。超声波加工的实质就是利用超声波的特性,将其能量转换成工具头的超声振动,工具头与工件间充有磨料混合液,在一定的压力作用下使工具头压紧在工件上,通过液体中的微细磨料进行周期性的撞击、抛磨被加工表面,加工表面上因受到很大的压强而使材料变形;当作用的应力超过材料的强度极限时,材料就会发生破坏,达到材料去除的目的(超声波加工示意图见图 1)。

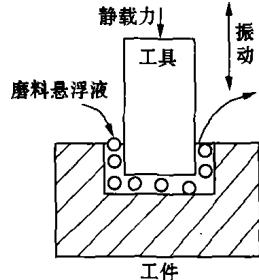


图 1 超声波加工示意图

淮海工学院的戴红娟对 Nd-Fe-B 烧结永磁体材料的超声加工机理进行了试验研究^[1]。试验在 JS93025 型超声波加工机上进行,工具为 $\phi 6\text{mm}$ 的圆柱钢,端面振幅为 5 ~ 20 微米。试验结果表明:随振幅的增大,工件材料的脆性微破碎去除作用加强,加工效率增加;随着静载荷的增加,加工区磨料作用于工件上的压力增加,加工效率提高;对于一确定的超声振动加工系统有一最佳的静载荷。

2.2 电火花加工

* 国家自然科学基金资助项目
收稿日期:2004 年 6 月

电火花加工是一种电加热加工过程,材料的去除机理包括两个方面:(1)熔化和汽化状态下的蚀除:由于放电通道的高温和带电粒子的撞击,工件表面局部材料产生熔化和汽化现象,放电产生的冲击爆炸作用把已经熔化和汽化的工件材料抛入工作液介质中,从而达到蚀除材料的目的。(2)热应力腐蚀:放电加工时工件表面不断受到剧冷剧热的温度变化冲击,形成很大的温度梯度和形状负载的温度场,造成材料局部表面上的膨胀和收缩,产生拉伸和剪切应力。当这种由温度场变化在材料中引起的热应力超过材料的极限强度时,就会在材料的局部引起颗粒的破碎,从而达到加工的目的。电火花加工是靠电热作用实现的,材料的加工性能主要取决于材料的热学性能(如熔点、比热容、导热系数等),而几乎与其机械性质(如硬度、强度等)无关,因此采用电火花加工能以柔克刚,实现用较软的工具加工硬韧的工件。爱沙尼亚塔林技术大学的 Arvi Kruusing 等人^[2]对 NdFeB 进行了电火花加工试验。加工试验在 A207.86 型加工机上进行,加工条件为:频率 20.8kHz,峰值电压 6kV,脉冲时间 2.7μs,用水作为工作液。试验结果表明:采用电火花加工 NdFeB 可得到较好的加工质量,而且对材料表层没有太多的损伤。

2.3 激光加工

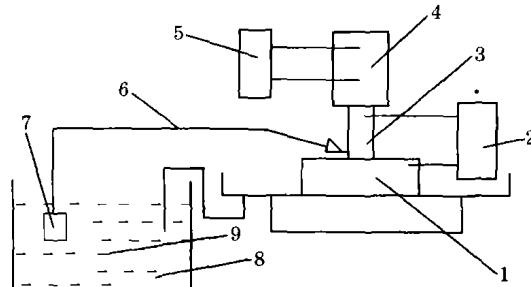
激光加工是利用高能量密度($10^8 \sim 10^{10} \text{W/cm}^2$)的均匀激光束作为热源,在被加工材料表面局部点产生瞬时高温,通过局部点熔融或汽化而去除材料。激光加工是一种无接触、无摩擦的加工技术,加工过程中不需要模具,仅通过控制激光束在材料表面的聚焦位置,即可实现三维复杂形状材料的加工。由于激光加工对工件的机械损伤小,材料变形小,不需要后续工序处理,因此可达到较高的加工精度。爱沙尼亚塔林技术大学的 Arvi Kruusing 等人对 NdFeB 进行了激光加工试验,试验采用 YGA(钇铝石榴石)激光器,脉冲频率为 1kHz,功率为 10kW,聚焦光斑直径为 50μm。试验分别在空气和去离子水中进行,结果表明 NdFeB 对激光的吸收性好,最佳进给速度为 1mm/s。通过对表层的分析可知,表层受损伤的深度大约为 20 微米,而且由于表层的粗糙和非规则化使得融化层不能与表层很好的结合在一起。在水中和空气中都能取得良好的加工效果,都没有碎片产生;在水中加工时的切缝比在空气中加工时窄,但在水中加工时材料的去除率要比在空气中低 2.5 倍。

3 复合加工

复合加工是将两种或两种以上的加工方法组合起来,最大限度地发挥每种加工方法的优势。采用复合加工技术可显著提高材料的加工效率,改善加工后材料的表面质量,是硬脆材料加工的一个发展方向。但目前尚没有见到对 NdFeB 永磁材料复合加工方法研究的报道。

笔者通过研究烧结 NdFeB 永磁体材料的特性,提出了超声振动一间隙脉冲放电一磨削复合加工 NdFeB 新技术。这项新技术结合了超声波加工、放电加工以及磨削加工的优点,适合对烧结 NdFeB 永磁体等脆性难加工材料进行高效率、高质量的成型加工。该技术的原理是在工具电极作超声振动的条件下,在加工间隙内加入不导电的磨料液,极间的工作液会发生类似液体的瞬间“空腔”及瞬间“闭合”现象,产生了高频泵吸作用,形成极间工作液强烈的冲击,加大了放电间隙中蚀除产物的排除力度,确保了在小的放电能量和放电间隙下加工更稳定。与此同时,由于极间产生高频机械振动,极间的工作液及其混入的悬浮磨料产生了高速强烈的扰动,伴随着工作液的高速扰动和强烈冲击,磨料对工件表面不断产生高速冲击作用,特别在放电停歇时产生的冲击更强烈。这种冲击将产生类似于高压液体磨料流的喷射冲击效能,对加工面产生了超声高速的机械抛磨和对尖峰的去除效果,从而增加了材料的去除率,降低了表面粗糙度,减少了表面热影响层的厚度。该方法是放电物理、超声机械、气动力学的复杂综合过程,在加工中它们有机良好的相互复合,获得了独特的加工效果。

烧结 NdFeB 永磁体材料超声振动一间隙脉冲放电一磨削复合加工原理如图 2 所示。



1. 工件 2. 工具 3. 脉冲电源 4. 超声振动头
5. 超声波发生器 6. 供油管 7. 过滤器 8. 容器 9. 悬浮颗粒
图 2 超声振动一间隙脉冲放电一磨削复合加工示意图

该技术的特点:集多种加工方法于一体,能发挥每种加工方法的特点和优势,适合于对硬脆材料进行加工;工具电极的高频振动会产生泵吸和空化作

数控机床对刀方法

杜家熙 王玉萍 宁 欣

河南职业技术师范学院

1 引言

在数控机床加工中,刀具刀位点的运动轨迹自始至终需要在机床坐标系下进行精确控制,但编程尺寸却是按人为的工件坐标系确定的,工件坐标系确定之后,还需要确定刀位点在工件坐标系中的位置,这样,工件坐标系与机床坐标系之间的相对位置关系就确定了,这一过程称为对刀。数控机床加工中经常涉及到对刀问题,对刀问题处理的好坏,直接影响到加工零件的精度和数控机床的操作。我们所说的对刀,包含两方面:一是刀具偏置参数的测量与输入,二是对刀点的确定。

一般数控机床加工前,刀具首先要回机床参考点,如果刀具(如普通数控车床刀架上可装四把刀)安装后没有进行刀具偏置补偿,或已进行了刀具偏置补偿但刀具的安装位置有变动,那么就必须进行刀具参数偏置设置和对刀点的设定。刀具参数设置一般应在自动加工之前进行。

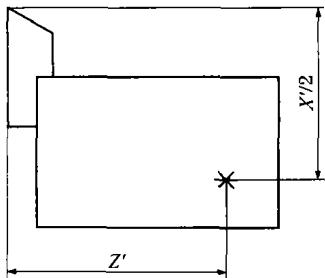


图 1 刀偏量

2 刀偏量设置目的

对于车刀,刀具参数指刀偏量(刀具偏置量或位

收稿日期:2004年1月

用,蚀除产物容易排除,从而使放电状态稳定;提高了加工效率,改善了加工质量,降低了表面热影响层的厚度。

参考文献

- 1 戴红娟. Nd-Fe-B 烧结永磁体材料的超声加工机理. 机械工程师, 2002(8):32~33
- 2 Arvi Kruusing etc. Micromachining of magnetic materials. Sen-

置补偿量)、刀尖半径和刀尖位置(见图 1)。数控车床刀架内有一个刀具参考点(基准点),即图 1 中的“*”。数控系统通过控制该点运动,间接地控制每把刀的刀尖运动。而各种形式的刀具安装后,每把刀的刀尖在两个坐标方向的位置均不同,所以测出刀尖相对刀具参考点的距离即刀偏量(X' , Z'),并将其输入到 CNC 刀具数据库。在加工程序调用刀具时,系统会自动补偿两个方向的刀偏量(刀具位置补偿),从而准确控制每把刀的刀尖轨迹。

3 刀偏量的设置原理

刀偏量的设置过程称为对刀操作。对刀的方法常见有两种:试切对刀、对刀仪对刀。对刀仪又分为机械检测对刀仪和光学检测对刀仪;车刀用对刀仪和镗铣类用对刀仪。各类数控机床的对刀方法各有差异,可查阅机床说明书,但其原理及目的一致:即通过对刀操作,将刀偏量人工算出后输入到 CNC 系统;或把对刀时屏幕显示的有关数值直接输入 CNC 系统,由系统自动换算出刀偏量,存入刀具数据库。

图 2 为 CK0630 车床试切对刀的原理图。图中, XOZ 为机床坐标系, $X_pO_pZ_p$ 为工件坐标系。手动、对刀状态下,CRT 动态坐标为刀具参考点“*”在机床坐标系内的坐标值(X , Z)。刀偏量(X' , Z')可通过下式算出:

$$X' = X - \text{棒料直径 } d$$

$$Z' = Z - (20 + \text{棒料伸出卡爪长度 } L)$$

4 刀偏量的设置方法(对刀方法)

4.1 试切方法对刀

如图 2 所示,将工件毛坯(或其它心轴、棒料)夹持在三爪卡盘上,测得直径 d 、伸出卡爪长 L 。进入

sors and Actuators, 1999 (74):45~51

- 3 V Panchanathan. Nd-Fe-B powders for bonded magnets - an overview. TMS Annual Meeting, Feb 9~13, 1997, p.137
- 4 T Saito. Production of Nd-Fe-B alloys by mechanical alloying. Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy, 1998, 45(7):692

第一作者:李丽,山东大学南校区机械工程学院,250061
济南市