

表面光整加工技术及其应用（下）

中国航空精密机械研究所（北京 100076） 荣烈润

3. 水合抛光

水合抛光是利用在工件界面上产生的水合反应的新型高效、超精密抛光方法。主要特点是不使用磨粒和加工液，而加工装置又与当前使用的抛光机类似，只是在水蒸气环境中进行加工。为此，要尽量避免使用能与工件产生固相反应的材料作抛光盘。

在水抛光过程中，工件与抛光盘产生相对摩擦，在接触区产生高压高温，工件表面上的原子或分子呈活性化。利用过热水蒸气分子和水作用其表面，使之在界面上形成水合化层。借助过热水蒸气（不是用游离磨粒）或利用研具的摩擦力从工件表面上将该水合化层分离、去除，去除量为零点几个纳米，所以可获得无划痕、平滑光泽无畸变的洁净表面。

水蒸气介质温度越高加工量越大。水合抛光蓝宝石时，水蒸气的最佳温度范围为150~2000℃，可获得的加工表面粗糙度值在 $R_a=0.002\mu\text{m}$ 以下。并且可获得表面平滑性好、结晶无畸变、洁净度高的蓝宝石表面。

水合抛光还可用于ZnSe晶体、水晶、MgO、Y2O3、MgAl2O4等亲水性材料的超精密抛光。

4. 非接触研磨

非接触研磨技术的弹性发射加工（EEM）为理论基础。其加工原理如图3所示，加工时聚氨酯球（研具）与工件不接触，研具作旋转运动，并逐渐接近工件；抛光液用泵加压后作循环运动。当研具接近工件表面，抛光液流体的动压力迫使研具与工件保持微小间隙，并借助抛光液的流动使磨粒加速，以接近于水平的角度与工件表面进行弹性撞击，并产生强大的剪切力，从而去除工件表面的材

料。它可使材料内部不产生错位及缺陷，但又可产生微量的“弹性破坏”，从而实现原子级加工，达到高平面度、高平滑的表面创成。

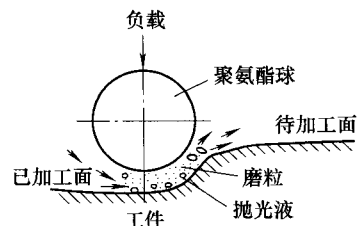


图3 弹性发射加工原理图

图4为数控弹性发射加工装置，用数控方法控制聚氨酯球位置，以获得最佳几何形状精度，同时使超细微粒加速，对工件进行原子级弹性破坏。在加工硅片表面时，用直径为 $0.1\mu\text{m}$ 的氧化锆微粉，以100m/s速度和与水平面成 20° 的入射角向工件表面发射，其加工精度可达 $\pm 0.1\mu\text{m}$ ，表面粗糙度值 $R_a=0.0005\mu\text{m}$ 以下。

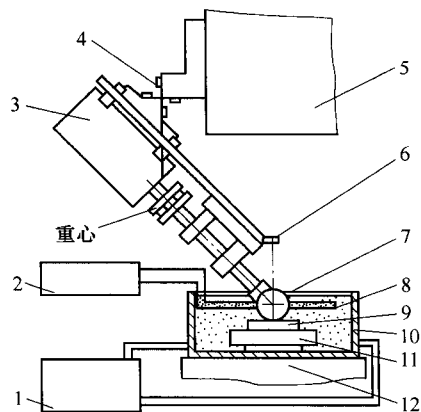


图4 数控弹性发射加工装置

- 1.循环膜片泵 2.恒温系统 3.变速电动机 4.十字弹簧 5.数控主轴箱 6.加载杆 7.聚氨酯球 8.抛光液和磨料 9.工件 10.容器 11.夹具 12.数控工作台

5. 浮动抛光

浮动抛光的加工原理如图5所示，它利用流体动力学原理使抛光器与工件浮离接触，在抛光器的工作表面上作出了若干个楔槽，当抛光器高速回转时，由于油楔的动压作用使工件或抛光器浮起，其间的微磨粒就对工件表面进行抛光。浮动抛光是一种无接触的抛光方法，加工出的工件表面的平面度很高，没有端面塌边及变形缺陷。此法可用于计算机磁头的磁隙对置面、PCM薄膜盖基片的加工，通过选用合适的抛光液及化学添加剂，可防止出现晶界差，即使是多晶体材料也可获得表面粗糙度值为 $R_z=0.002\mu\text{m}$ 的表面。浮动抛光法还适用于加工高精度的光学零件。例如BK7玻璃镜片，抛光前，加工面为光学研磨面， $\lambda=0.63\mu\text{m}$ ，抛光后续测量其 $P-V$ 平面度为 $0.029\lambda=0.018\mu\text{m}$ 。同时，在抛光时，不需采用夹具来防止端面塌边，端面塌边半径仅为 $0.01\mu\text{m}$ 。在抛光蓝宝石（0001）面时，其表面粗糙度值可达到 $R_z=0.000\ 08\mu\text{m}$ （测量长度为1mm）。表面具有良好的结晶特性，没有残余应力。

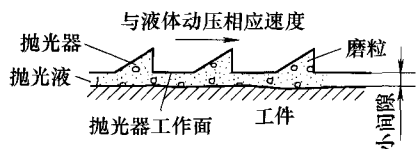


图5 浮动抛光加工原理

对于球面及非球面工件也正在研究采用浮动抛光法进行加工。

由于使用浮动抛光法来加工的光学零件能提高其对激光损伤的阈值和防止激光的散射，所以特别适合于大功率激光用的光学零件的加工，以及加工环形做光陀螺用的光学零件和准分子激光器的光学零件。

6. 磁力研磨

磁力研磨是利用磁场作用进行光整研磨加工的新方法，它能高效、快速的对各种材料、尺寸和结构的零件进行光整加工，为一种投资少、效率高、用途广、质量好的研磨加工方法。

（1）利用磁性流体的磁力研磨 ①控制磨粒数的磁力研磨，加工原理如图6所示。在研具的孔中预先注入带用非磁性磨粒的磁性流体（它是一种

借助活性剂将粒径15nm以下的极为微细的铁氧体粒子均匀分散在液体中而形成的胶状溶液，并可感应磁力的可动流体）。当磁场方向与重力方向平行时，则磁场加给非磁性磨粒浮力，使磨粒进入研具表层。调节流经电磁铁的电流可以有效地控制参与研磨的磨粒数量，达到有效的研磨加工。②控制压力的磁力研磨。图7是其加工原理图，当电磁铁通电后，磁性流体被引向磁极，使研具（橡胶极）向上鼓起，对工件产生研磨压力。加工压力的大小，可通过改变流经电磁铁的直流电流来调整。流经电磁铁的电流与加工压力间在测量范围0~105A/m成线性关系。加工量随电流（磁场强度）的增大而增大，而且磨粒直径越小，被加工工件的表面粗糙度值越低。③磁力悬浮研磨。它是基于磁性流体中非磁性磨粒受磁场作用时，会产生向低磁场方向悬浮的现象研究出的一种研磨方法。磁力悬浮研磨具有以下特点：作用在研磨面的磨粒数增多，每一颗磨粒的加工压力很小，可抑制加工点温度上升，可对工件形状进行修正及高效加工等。

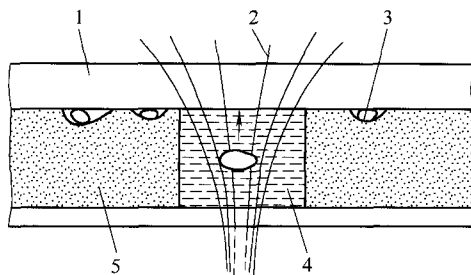


图6 控制磨粒数的磁力研磨加工原理

1.工件 2.磁力线 3.磨粒 4.磁性流体 5.研具

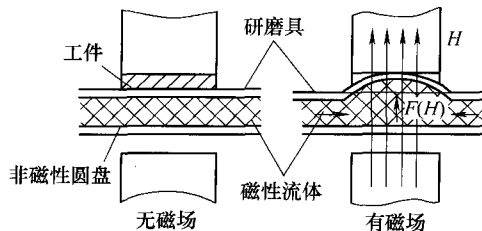


图7 控制压力的磁力研磨加工原理

磁力悬浮研磨法的加工区域是立体的，为此，它既能研磨平面，又能研磨球面和其他复杂型面。

（2）利用磁性磨料的磁力研磨 磁性磨料磁力研磨是在磁场中（N极和S极之间）充填粒径很小的磁性磨料（一种具有强磁性的铁磁性物质和具有

磨削性能的磨料按一定比例混合后的复合磨料)，利用磁场作用使之形成磁力研磨刷，使工件在其中边旋转、边振动，从而实现工件表面的研磨，去毛刺及精密倒圆。图8为利用磁性磨料的磁力研磨加工原理图。

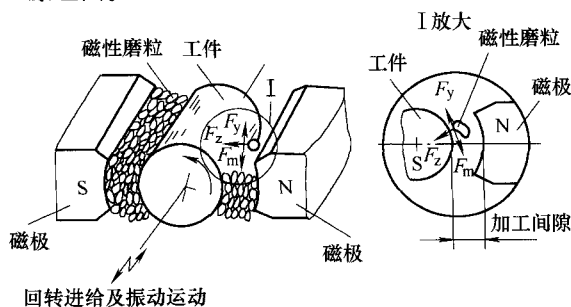


图8 利用磁性磨料的磁力研磨加工原理

利用磁性磨料的磁力研磨具有：容易控制研磨压力（即可调节磨削力）可以进行异形表面和自由曲面的研磨，不会污染工作环境，磨料具有良好的自锐性，加工效率高，既可研磨铁磁性材料，也可研磨非铁磁性材料等特点。

本方法适用于精密零件的研磨、抛光和去毛刺，如轴承内外滚动、液压滑阀、齿轮泵、印刷电路板、模具、表壳、叶片、家用不锈钢器皿、缝纫机零件等。过去必须用手工进行的去毛刺和抛光工序，在很大程度上有可能应用研磨料研磨而实现自动化加工。

7. 液体磁性磨具光整加工

(1) 液体磁性磨具光整加工方法的提出及应用前景 液体磁性磨具光整加工是一种新型精密光整加工方法。液体磁性磨具是受磁流变液体及磁性液体在磁场的使用下会迅速发生相变的启发而提出的。磁流变液体（MR）是美国的Jacob Rabinow于1949年提出的一种新型智能材料，它实际上是由软磁性微粒、表面活性剂及基液等组成的一种稳定的悬浮液。该液体在没有磁场作用的情况下，是一种可以流动和普通悬浮液体，符合牛顿流体的所有特性，一旦对其施加磁场，磁流变液体的黏度和剪切屈服强度会提高多个数量级（可选100kPa以上），形成一种类似固体的物质，发生了相变；一旦撤掉磁场，其又会迅速恢复原始的牛顿流体状态。磁流变液体的这种智能属性引起了人们的广泛关注，特别是20世纪90年代后，随着磁流变液体性能和稳定

性的提高，在工程实际应用中开始大量出现，并在阻片元件（减振器）、敏捷控制元件（制动器）及可控制阀门等方面取得了很大的进展。

美国罗彻斯特大学光学制造中心于20世纪90年代初提出并验证了确定性磁流变抛光（MRF）技术用于非球面光学镜片加工的方法，基于MRF技术，美国QED公司还于1998年推出了商品化的MRF抛光设备，并在光学镜片加工方面取得了良好的应用。另据报道，美国人首先在计算机辅助下对天体望远镜上的大型光学镜片实现液体磁性磨具抛光加工。镜片为非球面光学镜片。

(2) 液体磁性磨具光整加工的加工原理 液体磁性磨具是通过将适当比例的磁性微粒、表面活性剂、非磁性磨料及防锈剂等分散在基液中而形成的一种黏稠状悬浮液，该悬浮液在很大程度上具有与磁流变液体相似的性质。在无磁场作用的情况下，磨具中的磁性微粒及非磁性磨料处于自由运动状态（图9a），整个磨具呈现为一种可以自由流动的牛顿流体，但在磁场作用下，磨具中的磁性微粒会迅速极化，沿着磁场方向形成链状结构，并导致液体的流变性能迅速发生变化，黏度值及剪切屈服应力也将大大提高，形成一种类似固体的宾汉（Bingham）物质。磨具中磁性微粒的链状结构就像普通砂轮中的结合剂一样，将非磁性磨料夹挡在磁性链之间（图9b），如果在加工过程中磁性微粒形成的链状

结构被破坏，在磁场的作用下新的链状结构会重新迅速生成，从而形成一个可以连续进行光整加工的“柔性砂轮”。

液体磁性磨具光整加工过程实质上是一个复杂的物理与化学过程，在这个过

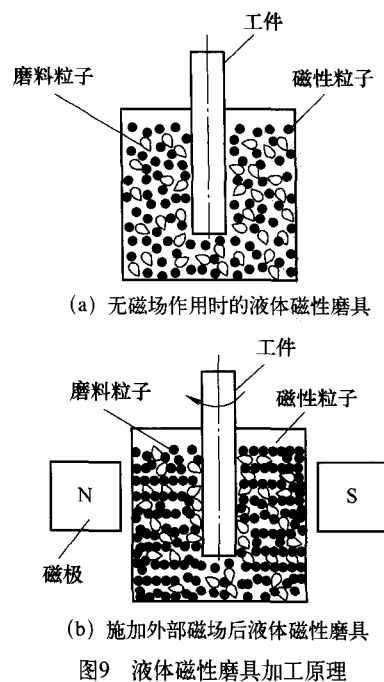


图9 液体磁性磨具加工原理

程中磨粒对工件表面的摩擦、滑擦、犁耕、微切削及腐蚀等均可能对工件表面产生光整作用，在这些作用中一般认为微切削、滑擦等机械作用是实现整个光整加工的主要原因。

(3) 液体磁性磨具光整加工方法的特点 ①工件形状适应性强。可以完成一些不规则形状的零件表面及型腔的光整加工，特别在回转类曲面加工及小孔径异形孔加工中可获得良好的效果。②材料适应性强。既可以对金属材料，也可以对非金属（包括一些磁性材料）材料等进行光整加工。③可控性较强。在初始加工阶段采用较强的磁场获得高的材料去除率，在加工后期采用较弱的磁场来获得低的表面粗糙度值。④加工质量较好，表面粗糙度可降低（1~3级），且不会改变工件的原有的加工精度。⑤工艺简单，成本较低。⑥液体磁性磨具本身具有润滑、冷却、自铣及磨屑清理作用。

总之，液体磁性磨具是一种新型良好的精密光整磨具，可以用于塑性材料及脆性材料的光整加工，特别是在复杂型面的光整加工方面具有一定的优势，可以广泛地应用于机械制造行业。

8. 其他复合光整加工

(1) 磁性磨粒电解研磨复合光整加工 磁性磨粒电解研磨复合光整加工是近十几年来研发起来的新工艺，在精密仪器制造业中获得日益广泛的应用。图10是磁性磨粒电解研磨复合光整原理图，其加工原理是工件接直流电源正极，工具阴极接直流电源负极，电解液经阴极通孔流到工件表面，在垂直于工件轴线且与电力线成 90° 的方向，加上直流电源强磁场，使其在磁极与工件之间形成的强磁场中，沿磁力线方向排列成一定柔性的“磨料刷”，对工件实现光整加工。

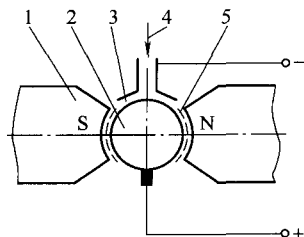


图10 磁性磨粒电解研磨复合光整加工原理

1.磁极 2.工件 3.阴极及喷嘴 4.电解液 5.磁性磨粒

磁性磨粒电解研磨复合光整加工具有以下特点：①具有良好的适应性，可以加工任意复杂形状

的表面。②加工具有可控性。可以通过控制磁感应强度来控制作用力，尤其可根据需要调节磁性磨粒的保持力。③复合加工工艺使用的设备可以用低精度或旧机床改造得到，大大降低了加工所需的设备成本。

该法适用于导磁材料的表面光整加工、棱边倒角及去毛刺等。既可用于加工外圆表面，也可用于平面或内孔表面甚至齿面、螺纹和钻头复杂表面的研磨抛光。

(2) 超声电火花复合光整加工 超声电火花复合光整加工的加工原理如图11所示。在加工过程中，超声的空化作用一方面会使工件表面软化，有利于加速金属的剥离；另一方面使工件表面不断出现新的金属尖峰，这样不断增加了电火花放电的分散性，而且给放电加工创造了有利条件。超声波抛磨及放电交错而连续进行，既提高了加工速度，又提高了工件表面材料去除的均匀性。

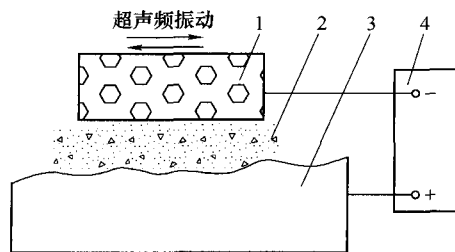


图11 超声电火花复合光整加工原理

1.工具 2.乳化液 3.工件 4.脉冲电源

这种复合光整加工的加工效率比纯超声机械光整加工要高出3倍以上，表面粗糙度值 R_a 值可达 $(0.2 \sim 0.1) \mu\text{m}$ 。特别适合于小孔、窄缝以及小型精密表面的光整加工。

(3) 机械化学抛光 为了改变单晶材料及陶瓷等脆性材料，在采用传统游离磨粒抛光后，通常在表面会当留下很大的加工变质层的缺陷，研究人员现已开发出一种“机械化学复合加工方法”，即所谓机械化学抛光法。它是利用软质磨粒与工件在接触点上产生的机械化学现象（由机械作用能感应产生的化学反应），以去除工件表面的微量材料。与传统抛光法有着本质上的区别。它是一种经济性好、生产率高，可实现水晶、蓝宝石、半导体等晶体的高精度加工的新型复合光整加工方法。此法有干式和湿式两种抛光方式。

航空铝合金结构件的高效加工

哈尔滨哈飞工业有限责任公司 (黑龙江 150066) 佟新宇

高效加工是指通过提高单位时间内金属切除量和对加工过程的全面考虑及优化,进一步降低切削过程中的基本时间和辅助时间,进一步降低加工费用而采用的一种加工技术。

1. 高效加工与高速加工的对比

(1) 高效加工切削负载高于高速加工 在高速加工方式下,主焦点是进给速度和主轴转速,但切削力矩同高效加工的其他指标一样重要,因为它是材料切除率最大化的关键,在最大主轴速度下,机床不可能提供最大力矩;速度太高时,力矩开始下降。

(2) 选择刀具的区别 高速加工的刀具一般应用整体式硬质合金刀具,而且这些刀具往往具有多晶金刚石镀层。可转位镶刃刀具同样可以使用,但是它们的直径一般不大于50mm。通常高速加工快速浅切削专用的刀刃非常锋利,但是这些刀具可能对高效加工就不适用了,因为它们不适合于深切削。在某些情况下,高效加工利用的是不太昂贵的硬质合金刀具,原因是这些刀具吃刀深度和刀刃强度较大,可以提供较高的材料切除率。只要切削参数合理,并且吸收切屑载荷的效果不错,就可以进行高效加工。

2. 高效加工关键技术

高效加工不同于传统的常规切削技术,也不完

全与高速加工相同,要实现高速加工并且提高加工效率必须掌握以下关键技术:

(1) 高效加工机床 高效加工必须要有足够高的机床主轴转速与较大的传递力矩,高功率、高转速、高刚性,进行大功率切削。目前我厂已有这些先进设备,例如HPM高刚性五轴铣。

(2) 高效加工刀具 选用具有先进材料和较高加工参数的刀具,选用适合高速大功率切削的先进刀柄。

(3) 高效加工工艺 选用适合高效加工的编程软件(例如Hypermill)和加工方法以及合理的切削参数等技术措施。

3. 高效加工实例应用

依据高效加工方法,对我厂某型机结构件加工重新进行优化。

(1) 零件特点 如图1所示零件外廓尺寸272mm × 226mm,厚70mm,两侧下陷最小间距40mm,内型腔圆孔最外侧距离侧壁17.5mm,圆孔直径80mm。为了节约材料,毛坯尺寸

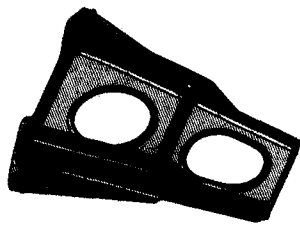


图1 零件结构

六、结语

作为提高零件表面质量的表面光整加工技术已成为改善零件和产品的使用性能、提高可靠性、延长使用寿命的重要途径之一。本文主要对几种新型的表面光整加工技术的加工原理、特色、应用范围等作了简介,而特别对液体磁性磨具光整加工及化

学机械抛光加工两种新型的光整加工作了较为详细的介绍。在选用某种光整加工方法时,应结合现场的实际生产状况,在对几种光整加工方法的试加工基础上,对零件表面的加工质量、生产率、经济性等方面进行分析比较,从中确定更为合适的光整加工方法。**MW** (全文完) (收稿日期:20120112)