

球面光学零件下摆式高抛加工工艺技术

郑常春

山东北方光学电子有限公司 山东泰安 271000

摘要: 军用光学系统不但要求成像质量好, 而且要求体积小、重量轻、结构简单, 为适应不断提高的产品指标和新型的生产技术要求, 光学零件加工行业开展了大规模技术革命和创新活动, 准球心高效磨削加工技术作为先进的制造技术, 以高主轴转速、大压力来提高抛光的效率, 彻底解决了传统磨削加工高精度、低效率的加工局限, 在获得高效率、高精度的同时, 又能对各种材料和形状进行高表面完整性加工并降低成本, 广泛应用于光学行业、电子行业的高精度的、较小透镜的精磨和抛光加工。通过分析各工艺因素, 包括加工中常见疵病产生原因及解决方法进行简要概括, 对于提高企业光学制造的加工水平和保证产品性能、提高产品质量、降低制造成本、提高生产效率和批生产能力具有至关重要的作用。

关键词: 光学零件; 高效加工; 工艺因素; 加工效率; 前景

一、高效加工模具的制作

(一) 高速精磨用金刚石磨具的制作

光学零件的精磨是为了进一步减小工件表面的凹凸层深度和裂纹层深度, 并进一步提高工件的几何尺寸精度、表面面形精度以及粗糙度, 高速精磨就是用金刚石丸片精磨, 金刚石精磨片由金刚石微粉与烧结剂烧结而成, 形状一般为圆形, 常用粒度一般选择W20、W10、W7三种。第一道精磨去除粗磨较深的破坏层, 大约0.1mm; 第二道精磨、第三道精磨又称细精磨和超精磨, 主要去除上一道精磨较深的破坏层, 大约每面磨去0.005 ~ 0.01mm以上, 从而达到抛光前的各项要求。

1. 精磨片的排列依据

精磨丸片的排列对保证光圈的稳定很关键: 首先丸片间的间隔要合适, 一行一列最好都要均匀, 要根据镜片的大小来确定; 排列方式要符合余弦磨损规律, 不一定要严格按同心圆或螺旋形排列。其主要排列依据是: 保持磨盘曲率的稳定性; 有利于冷却液的流通等。对于球面磨盘来讲, 为了得到均匀磨削, 保持镜片光圈在一定范围之内, 只有保持球面磨盘上各个不同带区的磨损不同, 才能随着精磨片厚度的变化而磨盘曲率不变。要保持球面光圈稳定, 必须随着精磨片的变薄而中间磨损量大于边缘, 即边缘磨损量为中心磨损量乘以边缘精磨片所处位置的夹角的余弦, 通常称之为余弦磨损。

2. 精磨片的粘接

(1) 粘接面一定要用乙醇或丙酮等有机溶剂很好地脱脂; (2) 粘接面不宜太光滑; (3) 粘接剂不宜用量过

多; (4) 精磨片全部粘完后, 应用标准曲率半径模具静压定型, 以控制面形; (5) 粘接剂固化后, 可在精磨片之间的空隙处涂一层石蜡活硝基漆等保护层, 以防止水及碱性冷却液侵蚀粘接胶而影响牢固度。

3. 金刚石丸片精磨模的修整

修整精磨模是实现高效加工的关键, 关键在于要有一个标准的对修模, 在精修精磨模时修整模与精磨模最好一一对应, 为了保证精磨盘的同轴度, 修整精磨盘的主轴应用径向圆柱面和轴向端面作定位面。当球面精磨盘为主动时, 其同轴误差应小于0.05mm, 精磨盘(W40-W10)用W40金刚砂修整, 超精磨盘(W10-W5)用W20或W14金刚砂修整。磨盘修正过程中用简易手持式球径仪初测曲率半径, 用工作样板检查试磨件光圈精测曲率半径。用测量环测镜盘面型时, 可采用和标准球面比较, 观察其矢高变化量的方法来决定曲率半径变化情况和修整方法。

4. 模具间的匹配

为保证面形精度, 贴置模比精磨模低2-3道圈, 精磨模比超精磨模低1-2道圈, 超精磨模比对修模修出的抛光模低2-3道圈, 有利于从零件边缘磨起, 保证了零件面型精度和表面质量。(见下图1)

(二) 聚胺酯抛光模的制作

高速准球心抛光通常用聚氨酯片粘帖到抛光模基体上做成抛光模, 以去除精磨的凹凸层和裂纹层, 它有一定的弹性、耐磨性好、有大量的微孔可以保持抛光液、清洁无碎屑, 有均匀的切削能力, 还有耐磨、耐热、柔

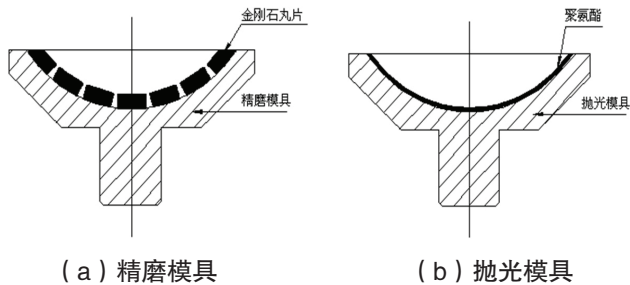


图1 模具粘结示意图

韧性好和适当的硬度，收缩率小、抗老化、吸水性好的性能。

球面抛光盘采用专门的胶合剂粘接（G17金属、皮革胶），固化快，清除也快，用丙酮浸泡一下就可清除。模具粘接完后放在压模机上压制40分钟，抛光前一定要对模子（抛光基模和压模）进行修整，直到符合工艺要求。抛光模制成以后，采用对研的方法修正其面形，通过试抛零件来检验抛光模的面形。

二、各工艺因素对零件加工效率的影响

实际加工中对抛光效率影响较大的因素包括工件表面精磨质量、抛光模转速、抛光压力以及抛光液的浓度、酸碱度、温度等外在因素。另外，各工序间相互密切的配合和操作人员的技术也是关键因素。

（一）精磨加工常见问题与解决方法

1. 擦痕产生原因及解决方法

产生原因：（1）精磨液不清洁，镜片和丸片间存有脱落的金刚石颗粒或镜片碎屑；（2）金刚石丸片接合剂中含有杂质或大颗粒金刚石；（3）丸片型号选择与镜片材质不当；（4）冷却液浓度太低，磨削中没有切削力、打滑；（5）零件磨削时中心部偏向模子边缘太多，光圈易变正；（6）修模后未冲洗干净，有金刚砂留在模子表面或丸片颗粒之间；（7）机床主轴振动太大，模子轴线与主轴线偏离太多。

解决方法：（1）可使精磨液保持一定清洁度，并充足注入模子与镜片之间便于快速冲走碎屑及脏物；（2）可以更换丸片，选择粒径均匀的金刚石丸片或找出杂质，给予清除掉；（3）可以根据镜片的材质选择恰当的丸片型号；（4）可以加入一定量冷却液，使其浓度符合要求；（5）不可将角度调太斜，可把模子口径倒小；（6）修模后必须将模子冲洗干净，并检查有无金刚砂留在表面；（7）可以调整模子与主轴同心度至符合要求。对于样板伤痕、取拿动作伤痕等，应注意规范作业动作。

2. 麻点产生原因及解决方法

产生原因：（1）铣磨来料面形粗糙，达不到工艺要

求；（2）冷却液浓度过大，含有碎屑杂质过多；（3）第一道与第二道弧度偏差太大，致使中心或边缘磨削不到，产生麻点，（4）模子口径太小，镜片露出模子太多；（5）丸片型号太粗，浓度过高；（6）设备振动大，造成外观磨削不均匀、粗细不一；（7）夹具太深，夹具边缘与模子磨削。

解决方法：（1）检查来料，发现不合格后及时反馈，第一道或第二道切削量不足，延长加工时间，适当调整压力，使之满足切削厚度标准；（2）及时更换冷却液；（3）修整弧度，使之符合标准要求；（4）重新制作标准口径的模子予以使用；（5）更换恰当丸片，使外观粗细符合要求；（6）调整机台振动至最小，使零件表面外观粗细均匀；（7）将夹具边缘磨去至镜片表面露出，使夹具不参与磨削。

3. 精磨光圈不合格

（1）光圈高：1）模子口径太大，光圈易变高；2）丸片与冷却液不配合，冷却作用不明显，光圈易变高；3）模子边缘丸片太密集；4）铣磨来料弧度高。（2）光圈低：1）模子口径太小，光圈易变低；2）冷却液注入不足；3）模子边缘部位丸太稀疏；4）铣磨来料弧度低。（3）光圈局部高：1）夹具贴付面曲率不标准；2）摆动幅度太小；3）球心太低；4）镜片中心部位调至模子边缘太多；5）丸片排列间隙距离不恰当。（4）光圈局部低：1）夹具贴付面曲率不标准；2）摆动幅度太大；3）球心太高。（5）光圈椭圆（不规则）1）模子面形不规则，磨削时忽松忽紧，镜片转动不均匀；2）上压头太偏，摆幅相对主轴转速中心不对称；3）主轴转速与摆幅速度的耦合，使零件与模子运行轨迹重合，零件表面的磨削出现一定的方向性；4）零件外径与夹具不配合，过紧或过松；5）厚度较薄的镜片，压力太大，受力不当；6）O型圈变形或掉落使零件整个面受力不均匀，致使磨削不均匀，出现椭圆。

（二）高速抛光常见疵病产生原因及解决方法

提高抛光效率的相关因素有很多，模具的设计、工装夹具的设计、设备的精度、抛光材料的选用、抛光粉的选用、抛光水的水质等等……每一个细节都是关键，都会对抛光效率有很大的影响。

1. 表面粗糙度的影响

由于精磨造成边缘玻璃结构的破坏，在抛光过程中很容易造成碎玻璃掉落，破坏零件表面。一般情况下粗磨滚圆表面太粗，不能满足抛光的需要，如果零件毛坯先行磨边和倒角，对提高表面光洁度很有好处。在精

磨方面要用好一点的精磨丸片，光圈要配合好，使其光洁度要达到没有明显的擦痕和麻点。

2. 聚胺酯抛光中出现的问题

Lak、ZF系列材料用下摆机抛光过程中易出现表面“橘皮”现象，抛光下来工件表面有很多不规则的点在上面，而且不止1-2个，而是几十个，出现这种现象时就看不到光圈，一般在小直径的镜片容易出现。这种现象是一种化学变化，跟抛光粉、机台压力、转速和温度都有一定影响。使抛光液在低温15度以下，修正磨具或者调整设备摆动角度都可改善。

3. 划痕产生原因及解决方法

产生原因：(1) 抛光粉粒度不均匀或混有大颗粒机械杂质；(2) 工房环境不洁净；(3) 抛光材料（抛光胶或聚胺酯及粘胶等）不洁；(4) 擦布不洁及操作者带入灰尘；(5) 粗磨铣磨零件边缘粗糙度较大，边棱的碎屑脱落；(6) 精细磨遗留划痕未抛掉或清洗不彻底；(7) 检查光圈工件或样板不干净、方法不当；(8) 抛光材料（抛光胶或聚胺酯）偏硬、使用时间长表面起硬壳或边缘有干硬堆积物；(9) 抛光模与镜盘不吻合；(10) 辅助工序（下盘、清洗、周转等）造成。

解决方法：(1) 选用粒度均匀和与玻璃材料对应抛光粉；(2) 做好“5S”工作；(3) 保管好所需用品；(4) 擦布清洗保管及操作者穿戴好工作服和帽子；(5) 加强自检，做好过程控制；(6) 正确使用样板；(7) 选用合适抛光材料（抛光胶或聚胺酯），周期更换；(8) 对改或修刮、重新制作抛光模；(9) 按各辅助工序操作规程加工。

4. 麻点产生原因及解决方法

产生原因：(1) 精细磨、抛光时间不够；(2) 精细磨面形不均匀或中间与边缘相差大；(3) 有粗划痕抛断后的残迹；(4) 零件在镜盘上由于加工造成走动；(5) 精细磨面形误差太大，尤其是偏高，易造成边缘抛光不充分；(6) 抛光模加工时间过长或抛光液使用时间而影响抛光效率。

解决方法：(1) 精细磨应除去上道粗砂眼，抛光时间应足够；(2) 精细磨光圈匹配得当，应从边缘向中间加工；(3) 发现后应作出标识单独摆放或重抛；(4) 选用适当的粘结胶，控制工序温度和镜盘忽冷忽热，粘结胶厚度应符合标准；(5) 精细磨各道光圈匹配应严格按照工艺规程操作；(6) 更换抛光皮及抛光液的各项指标（比重、PH值等）周期性管理。

5. 印迹产生原因及解决方法

产生原因：(1) 抛光模与镜盘吻合不好出现油斑痕迹；(2) 玻璃化学稳定性不好；(3) 水珠、抛光液、口水沫等未及时擦拭干净。印子多产生于化学稳定性较差的玻璃，添加剂的作用主要是在稳定抛光液PH值的同时也增加了镜片表面残留的一些憎水性物质，增强镜片的耐水性，除添加剂外还应尽量减少加工过程中热量的产出。

解决方法：(1) 选用合适的抛光胶，修刮或对改（聚胺酯）抛光模使之吻合；(2) 抛光中产生的印迹可以选用适当的添加剂；而对于完工后产生印迹的可以涂保护漆；(3) 避免对着工件讲话，如下盘擦不干，应擦净，对化学稳定性不好玻璃还应烘干。

6. 光圈变形产生原因及解决方法

产生原因：(1) 卡模尺寸不合适，过松或过紧；(2) 光圈未稳定即下盘；(3) 上盘方法不当等。

解决方法：(1) 光圈变形主要发生在较薄的零件或不规则的零件，应采用适当的上盘方法和选用精确面形的卡模；(2) 应按工件大小给予一定的光圈稳定时间；(3) 严格按工艺和上盘操作规程加工。

7. 零件检测

由于手的温度会使样板的曲率发生偏差（而且通常都是局部有温差），建议局部误差 ΔN 为0.3的零件用球面透镜干涉仪测量为佳。

结束语

高速精磨、抛光技术是现代新材料技术、制造技术、控制技术、测试技术和实验技术的高度集成，是光学制造业的一次重大的变革，目前大批量生产在中国的光学行业起着重要作用。随着现代工业技术和高性能科技产品对光学零件的加工精度、表面粗糙度、表面完整性、加工效率和批量化质量稳定性的要求越来越高，通过采用现代化制造技术，满足生产过程优质高效低耗洁净等要求，大力推进工艺创新，在现有加工技术条件下，大力加强高效研抛加工技术的研究、推广和应用，对提高光学零件制造业的加工水平和加快新产品开发具有十分重要的意义。

参考文献

- [1] 闫雯. 基于机械加工的精密零件装配优化研究. 建筑技术科学, 2023-12.
- [2] 熊定贵, 黄楠. 浅析铝合金薄壁零件机加工工艺. 建筑技术科学, 2022-11.