微孔加工

PEEK 绝缘体微小深孔加工技术改进

PEEK 聚醚醚酮是一种特种工程塑料，具有难加工的特点，严重影响装配使用。通过对比测试后选用了京瓷 SGS 系列涂层钻头进行加工，有效保证钻头强度且螺旋槽容屑较好的效果，为 PEEK 微小深孔的顺利加工奠定了良好的基础。

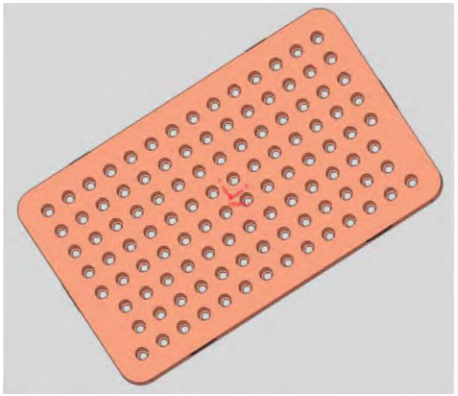
文 | 赵利 孙仁俊 周宜伟 中航光电科技股份有限公司

端面接触连接器是笔者所在单位预研的下一代连接器，其由壳体、绝缘体、固定帽、内导体、毛纽扣接触件、卡钉以及焊接插针组成，尤其放毛纽扣或弹簧针的绝缘体是关键件，尺寸公差要求非常严格，其结构如图 1 所示，材质都是 PEEK（英文 poly-ether-ether-ketone，中文聚醚醚酮）绝缘体，上面有很多台阶孔，工件上深孔主要有 ϕ0.9、ϕ0.6 和 ϕ0.45 三种，孔深度在 10 ~ 12 mm 之间，小直径且都是大于 10 倍径的孔深，属于微小深孔加工。

加工要求

该类绝缘体工件的加工要求主要包括几大方面：放毛纽扣的孔直径不允许超差（台阶孔上面大孔部分）；大、小台阶孔的同轴度要保证；孔距及孔位置度不允许超差。

PEEK 属于难加工的塑料材质，钻孔之后，经常出现孔径超差（孔口大，底部小）、大小孔同轴度超差、底部小孔出现孔距以及位置度超差的现象，最严重的是上面大孔孔中心线不直，底部最下面一段经常出现“L”型偏移，严重影响装配使用。



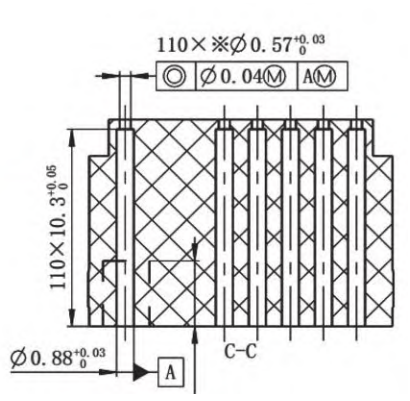


图 1 PEEK 绝缘体结构示意图

加工难点

PEEK 材质属于特种高分子材料，具有耐高温、耐腐蚀，以及机械强度好、抗拉强度好和耐磨性好的特性，其机械性能可与合金材料相媲美。特别是钻孔加工时，由于 PEEK 材质耐磨性好，钻头磨损快，产生的热量使材料内应力释放，导致零件变形。在小孔加工特别是深小孔加工时，排屑不畅，底部冷却不充分，切削热无法有效散出，会加剧钻头磨损，高温导致材料熔融；材料变形后，钻孔之后会导致孔圆度和位置度超差，孔中心线不直，特别是底部最下面一段，冷却效果非常差，工件材质性能是造成工件超差的主要原因。

另一方面，工件属于深小孔加工，材料的难加工性则要求钻头切削性和排屑性要好且强度要高，这样才能保证孔径及垂直度。小直径钻头强度本身就较差，刃长越长强度就越差，加工时会出现“孔偏”现象，如图 2 所示。钻头强度不够会影响孔径大小、孔的垂直度及位置度。若用户要求钻头切削锋利、强度高且排屑性好，刀具性能不满足上述要求的话，就无法完成工件加工要求。

根据材料特性和以往加工经验，PEEK 材质采用车削加工外圆，内孔效果最好，大直径孔在铣床采用镗孔加工效果非常好，但因工件属于微小深孔结构，无法定制镗刀，即使勉强做出镗刀，因镗刀强度不够，孔底部“让刀”现象

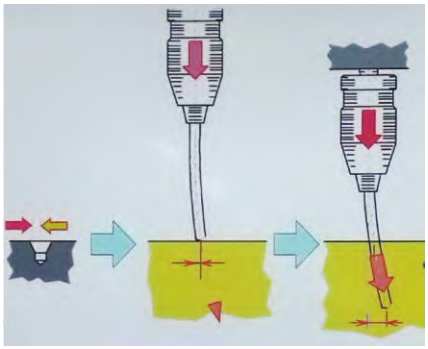


图 2 小直径钻头深孔加工偏摆示意图

也非常严重，无法满足加工要求。

加工工艺

综上所述，PEEK 材料深小孔加工之所以会出现孔圆度、位置度超差以及孔中心线不垂直的问题，甚至孔底部最下面一段出现“L”型偏离，其中材料特性是主要原因之一。若因设计无法更改工件材质，应选择合适的刀具和加工手段可以改善部分加工性能。经过多次验证，我们可以得出结论：镗孔刀太小无法定制，小直径铣刀强度不够且孔底“让刀”。当然，孔直径较大，铣刀强度达到一定程度的话，采用螺旋铣孔的方式还是能够保证孔的质量，但 ϕ0.9、ϕ0.6 和 ϕ0.45 三种孔铣刀长径较大且强度不够，不能采用铣刀铣孔。

此外，由于铰刀磨损快、无法加工盲孔，扩孔虽然可以保证孔径一致性，但 PEEK 材料耐剥离性好，扩孔钻韧带很快会磨损，切削力增大，可能会造成钻头折断。唯一可行的加工方法是直接钻孔和平底钻清，可保证孔径及孔垂直度。

首先，应选择合适的钻头。经过对比测试，我们选择了京瓷 SGS 系列涂层钻头，该系列钻头具有特殊的螺旋角磨制方法，既保证了钻头强度且螺旋槽容屑效果好，可保证钻孔时的垂直度，有效刃长满足孔深要求，保证了钻头强度最佳状态。在测试过程中发现，虽然 SGS 系列钻头加工 PEEK 材质时比其他钻头效果要好一些，但有一些加工技巧还是要注意，比如切削参数和加工顺序等。

其次，要注意加工顺序。经过试验对比，从加工质量和效率方面综合考虑，以大孔 0.88，小孔 0.57 为例，我们先钻 0.88 大孔，再以大 0.01 mm 的平底钻加工平底，在 0.88 大孔平底的基础上，用 ϕ0.6 SGS 钻头加工 0.57 孔。由于孔底无法大中心孔，ϕ0.6 钻头要采用免中心孔钻头，采购钻头时一定要注意采购免打中心孔钻头。

切削总原则是：减小吃刀量，降低切削速度，进给量要小一些。保证钻头锋利，排屑顺畅，选前角大、排屑好的钻头；采用分段式进给，钻孔时冷却要充分及时，加工时避免钻头上切屑缠绕，钻头磨损时及时更换，钻头磨损后挤压力增大，会造成孔径超差，甚至工件开裂。根据经验，一般钻头转速在 2000 ~ 3000 r/min 之间，进给 F=40 左右，吃刀量 Q=0.4，根据钻头直径不同，切削参数可以微调，钻头直径越大，转速越低，进给、吃刀量可以走上限。切削参数影响最大的是吃刀量，假如吃刀量 Q=0.4，加工后使用同轴度规检测，感觉同轴度规下的不顺畅，要及时调整吃刀量。

其他一些注意事项如下：

其一，钻头采用 SGS 系列专用钻头，钻头磨损之后直接更换，不允许手工刃磨；

其二，保证钻头冷却充分、不缠屑，注意清理切屑；钻头排屑不顺时，可以通过改进给切削参数来改善；

其三，加工底部小孔时，快钻透时注意降低钻头进给速度，以免钻头将材料沿轴向推掉，破坏孔直线度及同轴度。这是造成小孔孔距超差的主要原因；

其四，薄壁件加工外形时（孔壁厚小于 0.1 mm 时），要保证刀具锋利，降低转速，避免切削热过大导致产品表面变色，减小吃刀量，切削力过大会造成工件开裂、掉块。PEEK 材料热膨胀系数大，去除余量较多时注意控制内应力变形。材料内应力快速释放后，工件会开裂、变形，增大零件形状误差，进而无法保证孔的圆度、位置度；

其五，个别工件需要考虑夹紧力对工件的影响。一般原则是：以变径向夹紧为轴向，采用压板类夹具为优先选择。装夹时要充分考虑产品加工后产生的变形，适当控制好夹紧力和装夹方法；

其六，选择重复定位精度高、端面跳动小的机床；选择加持精度高的刀柄、卡簧，例如大昭和系列刀柄，可以保证钻头跳动控制在 0.003 mm 左右。

结论

通过对材料特性进行分析，并认真研究工件结构特点，笔者所在的单位选择了合适刀具，制定了合理的加工方案，严格执行加工过程中的相关注意事项，实现 PEEK 微小深孔的顺利加工，保证了孔径及同轴度要求，孔位置度和垂直度满足图纸要求。MM