

环氧树脂材质底板数控工艺改进

■ 中国电子科技集团公司第二十七研究所（河南郑州 450047） 李德宏 杨岗伟 刘龙飞

摘要：环氧树脂板强度大、硬度高，加工中吸收水分而导致纤维拔出，容易内部脱粘，形成分层与母体分离；玻璃纤维不能被完全切除，残留在工作表面，形成拉毛状态，对工件的平面度有严重的影响，是典型的难加工材料之一。本文通过分析和总结加工中出现的问题，不断探索与完善加工工艺，圆满解决了树脂板分层脱离和玻璃纤维拉毛的问题。

环氧板又称环氧玻璃纤维板、环氧酚醛层压玻璃布板。环氧玻璃纤维板是由质软而粘性大的环氧树脂和强度高、硬度大的碳纤维混合而成的二相或多相结构，其构件大多是直接在成型模上用预浸树脂碳纤维布按不同角度层叠铺设或用缠绕机编织碳纤维并用树脂粘接而成，碳纤维/环氧树脂具有硬度高、导热性差及各向异性特点，且具有吸湿性，在加工过程中吸收水分而导致

纤维拔出、内部脱粘、分层等缺陷。环氧树脂具有耐酸、耐碱、不怕各种油类浸泡和冷热水冲刷的特点，完全固化后，环氧树脂还有一定的机械强度。在环境温度 $-40\sim 100^{\circ}\text{C}$ 的条件下，其抗压强度可达135MPa以上，抗拉强度达16MPa左右。所以，环氧树脂材料的力学特点是耐压、不抗拉。环氧树脂材料加工过程中凸起的小型凸台和凸起的薄壁，非常容易分层而与母体脱离，造成

工件报废；刀具磨损后，玻璃纤维不能被完全切除，残留在工作表面，形成拉毛状态，对工件的平面度有严重的影响，是典型的难加工材料之一。

环氧树脂板是一种具有高介电性能、耐表面漏电、耐电弧的优良绝缘材料。环氧树脂板作为电子器件之间的绝缘材料，在机电产品中有着广泛的应用。随着科学技术的发展，电子设备逐渐向小型化、集成化发展，具体体

测量头，观察百分表数值（如果百分表所显示的数值与所记数值在 $\pm 0.01\text{mm}$ 时，则小滑板角度已找正）。如有误差，微调小滑板角度，重复以上步骤。

在精车最后一刀时，刀具刃口要锋利，背吃刀量 $a_p=0.1\text{mm}$ 左右。

AC、BC也可以用量块控制。

3. 注意事项

在调小滑板角度时，应注意以下几点：

- (1) 刀尖应严格对准工件中心。
- (2) 百分表测量杆基本垂直于小滑板导轨。

(3) 在移动中滑板单边距离时，只能是要么一直进到单边距离，要么一直退至单边距离，绝对不能使用以清除空行程的方法来控制中滑板的单边距离，这样会使斜角产生误差，大滑板也不使用以消除空行程的方法来控制AC。

(4) 如果中滑板单边距离BC尺寸较大（且中滑板丝杠有磨损），使中滑板刻度盘转动2圈以上，由于中滑板丝杠螺距有累积误差，这将会使圆锥斜角产生误差。

(5) 如果床身导轨有磨损，在加工时对配圆锥面工件时，应将大滑板移至床身导轨面同一位置变动小滑板角度。

4. 结语

新方法与传统校正小滑板角度的方法相比简单方便，小滑板的角度是否正确一目了然，可一次调整到位，节省了时间。在加工对配圆锥面时，也可变动小滑板转动角度，对配锥度的密合度能达到90%以上。精确度明显提高。MW

（收稿日期：20141023）

现在体积小、质量轻、便于携带等特点。作为电子产品中起到绝缘作用的器件，也必然向轻、薄方向发展，但是，轻、薄环氧树脂材质的工件却给生产加工带来巨大的挑战。

1. 底板加工工艺分析

底板是某型激光测距机整机的重要组成部分，测距机的聚光腔就放置在底板之上。聚光腔是一个超高压器件，为防止聚光腔发生位移与其他器件发生接触，聚光腔的高压击穿其他电子元器件，底板是起到隔离、绝缘作用的重要器件，必须选用耐高压、高绝缘的环氧树脂板作为工件材料。

图1所示为底板工件的三维模型图。该工件模型结构并不复杂，加工的难点在于底板上凸起的绝缘筋长90mm，宽最窄处只有1.5mm，高度却达到15mm高。由于环氧树脂材料具有耐压、不抗拉的力学特点，所以加工中绝缘筋很容易被刀具挤掉而脱离母体，造成工件报废。底板的底面是放置聚光腔的基准面，平面度要求严格控制在0~0.05mm。刀具严重磨损后，纤维从环氧树脂中拉出，严重影响了底板底面的平面度。底面不平将严重影响聚光腔光轴高度和方向，不利于激光光束的输出。所以，该环氧树脂板材质工件蕴藏了极大的加工

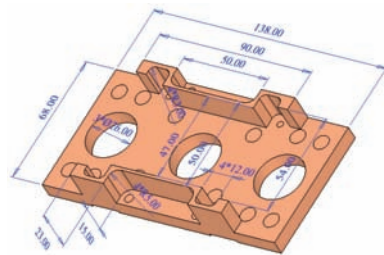


图1 底板工件三维模型

风险。

2. 原数控加工工艺设计

(1) 加工设备：北京机电院VT75立式加工中心。

(2) 用 $\phi 12\text{mm}$ 高速钢立铣刀粗铣工件：15mm深度尺寸分三次切削，底面留0.3mm精加工余量，铣削90mm尺寸两侧台阶，铣削46mm尺寸，铣削两侧54mm尺寸，铣削内侧4个宽12mm U形槽。铣削50mm $\times$ 9mm $\times$ 15mm缺口，底面留0.3mm精加工余量，铣削3个 $\phi 26\text{mm}$ 圆孔。

(3) 用 $\phi 12\text{mm}$ 高速钢立铣刀精铣工件：底面预留0.3mm精加工余量，用 $\phi 6\text{mm}$ 硬质合金刀分两层精铣4 $\times$ R3mm和4 $\times$ R5mm圆角到15mm尺寸。

3. 生产中出现的問題

(1) $\phi 12\text{mm}$ 高速钢立铣刀严重磨损，立铣刀刀尖消失形成R1.5mm圆角，铣刀侧切削刃出现若干豁口，造成刀具无法刃磨，刀具只能报废。

(2) 底板底面凸起的90mm $\times$ 1.5mm $\times$ 15mm隔离绝缘筋加工时与母体分层脱落，造成工件报废。

(3) 由于刀具严重磨损后，玻璃纤维没有被完全铣削干净，纤维从环氧树脂中拉出，毛虫、拉毛现象造成底面不平，有明显的凸起，严重影响了底板底面的平面度，致使平面度超出设计需要。底板是聚光腔放置的基准，底面不平不利于聚光腔安装调试，严重影响激光的输出。

4. 问题成因分析与应对措施

(1) 刀具选择不当。高速钢

铣刀不适合强度大、硬度高、导热性差的环氧树脂板切削，因此采取粗加工改用硬质合金玉米铣刀的措施。半精加工选用YT6硬质合金刀具，精加工选用YT30硬质合金刀具。玉米铣刀是一种粗加工铣刀，又称玉米棒铣刀（见图2）。表面是密集螺旋网状的浅槽，切削刃由许多切削单元组成，刀齿交错排列，分屑、散热性能好，排屑顺利，切削刃锋利。减小每齿切削力，每齿切削厚度增加，使刀齿避开表面的硬化层，刀齿交错有利于切削液的渗透，从而极大地降低了切削力，延长了铣刀的使用寿命。适用于大切深、大切宽的重切削，切削效率极高。



图2 整体玉米粗开刀

(2) 加工顺序和切削参数不合理。由于环氧树脂材料耐压、不抗拉的力学特点，底板底面凸起的1.5mm宽、15mm高的隔离绝缘筋粘合力不足以抵抗刀具的切削力，造成工件分层脱离母体。可采取以下改正措施：50mm $\times$ 9mm $\times$ 15mm的U形缺口粗加工时暂不加工，1.5mm宽绝缘筋两内侧各留合适余量，加大绝缘筋的面积，增强粘合力的强度，使材料的屈服强度大于刀具的切削强度。半精加工、精加工的切削宽度均小于绝缘筋的设计宽度，避免材料分层脱离造成工件报废。

5. 改进后数控工艺设计

(1) 加工设备：北京机电院VT75立式加工中心。

(2) 粗加工：用 $\phi 12\text{mm}$ 三齿玉米立铣刀粗铣。15mm深度尺寸分两次切削，底面留0.3mm精加工余量，两侧壁各留3mm半精加工余量，铣削90mm尺寸两侧台阶成96mm，铣削46mm尺寸通槽成40mm，铣削两侧54mm尺寸成48mm，将内侧4个宽12mm U形槽铣成6mm。铣削3个 $\phi 26\text{mm}$ 圆孔尺寸为 $\phi 25\text{mm}$ 。50mm $\times$ 9mm $\times$ 15mm缺口暂不铣削。粗加工仿真加工结果如图3所示。

(3) 半精加工：用 $\phi 12\text{mm}$ 硬质合金立铣刀半精加工凸起隔离绝缘筋内侧，分三次半精铣内侧壁，每次切宽1mm、切深14.7mm，铣削90mm尺寸、46mm尺寸、两侧54mm尺寸、侧面尺寸及铣削3个 $\phi 26\text{mm}$ 圆孔均到设计尺寸。用 $\phi 8\text{mm}$ 硬质合金刀具铣削50mm $\times$ 9mm $\times$ 15mm缺口，该尺寸深度分三次切削铣成44mm $\times$ 6mm $\times$ 14.7mm。半精加工仿真加工结果如图4所示。

(4) 精加工：用 $\phi 6\text{mm}$ 硬质合金刀分两次精铣4 $\times$ R3mm圆角到14.7mm，精铣工件底面预留

0.3mm精加工余量，凸起隔离绝缘筋深度铣到设计尺寸15mm。分三次精铣50mm $\times$ 9mm $\times$ 15mm缺口内侧壁，每次切宽1mm，切深4.9mm，铣削50mm $\times$ 9mm $\times$ 15mm缺口深度

尺寸到15mm，保证工件底面平整，平面度不超过0.05mm。平面度检测设备采用三坐标测量仪。精加工仿真刀路如图5所示。

四种刀具的实际加工参数如附表所示。

刀具实际加工参数表

	$\phi 12\text{mm}$ 玉米粗开刀	$\phi 12\text{mm}$ 硬质合金刀	$\phi 8\text{mm}$ 硬质合金刀	$\phi 6\text{mm}$ 硬质合金刀
主轴转速/ ($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)	1 600	1 600	1 800	1 800
进给速度/ ($\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$)	320	260	200	300

加工工艺改进之后，使用CimatronE11编程软件编制的数控程序，在北京机电院VT75立式加工中心上一次就顺利完成该工件的加工，成功避免了以往加工中出现的分层脱离及平面度与图样不符的缺点，成品完全符合设计图样要求。加工出的成品如图6所示。

6. 结语

环氧树脂板强度大、硬度高，在加工过程中吸收水分而导致纤维拔出，容易内部脱粘，形成分层等缺陷，是典型的难加工材料之一。笔者通过底板工件的成功加工，摸索出3条有益的加工

经验。

(1) 刀具的选择十分关键。粗加工优先选用玉米粗开刀，半精加工选用YT5硬质合金刀具，精加工选用YT30硬质合金新刀具。精加工绝对不能使用旧刀具。

(2) 加工刀路的走刀区域及走刀顺序非常重要。接近铣削单独小凸台或薄隔离绝缘筋侧壁时不能大切宽切削，要分多层剥离切削。

(3) 粗开一半精加工一精加工之间的预留加工量一定要合适。预留加工量太少，凸起单独小凸台、薄隔离绝缘筋受刀具挤压与工件母体分层脱离造成工件报废；预留加工量太多，会对后续的半精加工和精加工刀具造成严重磨损，以至于平面度不符合图样要求。环氧树脂板虽然是难加工材料，但是只要我们认真分析和总结加工中出现的问题，不断探索与完善加工工艺与加工策略，一定会取得满意的效果。

参考文献：

[1] 张在新. 胶黏剂[M]. 4版. 北京：化学工业出版社，2005.

MW (收稿日期：20140820)

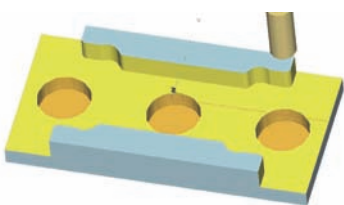


图3 粗加工仿真图

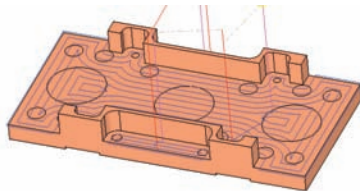


图5 精加工仿真刀路

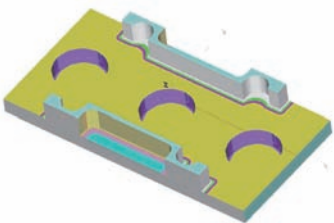


图4 半精加工仿真图

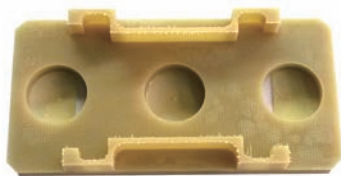


图6 底板加工成品图