

聚砜天线保护罩开裂分析及工艺改进研究

陆建军¹ 曾照勇² 王 勇¹ 朱 刚² 曹晓平²

(1. 中国人民解放军驻上海航天局八〇二研究所军事代表室, 上海 200090;

2. 上海无线电设备研究所, 上海 200090)



摘要: 介绍了聚砜天线保护罩的结构和加工方法, 针对其存在的开裂问题, 分别从材料、钻削工艺参数和热处理工艺等方面开展了研究, 确定了导致天线保护罩开裂的主要原因, 并通过工艺试验优化了钻削工艺参数和热处理工艺, 使零件的废品率由 30% 左右下降到 3% 以下。

关键词: 聚砜; 天线保护罩; 开裂

Research of Polysulfone Antenna Cover Cracking and Process Improvement

Lu Jianjun¹ Zeng Zhaoyong² Wang Yong¹ Zhu Gang² Cao Xiaoping²

(1. CPLA Rep. Office in the 802nd Research Institute of Shanghai Aerospace Academy, Shanghai 200090;

2. Shanghai Radio Equipment Research Institute, Shanghai 200090)

Abstract: The structure and machining process of thin-wall polysulfone antenna cover are introduced in this paper. The cause of cracking is determined by a series of experiments from different aspects, such as material, drilling parameter and heat treatment. Production shows that the reject fate is reduced from 30% to below 3% by optimizing drilling process parameters and heat treatment process.

Key words: polysulfone; antenna cover; cracking

1 引言

聚砜 (PSF) 是应用广泛的一类工程塑料^[1, 2], 它具有良好的热稳定性、力学性能和介电性能, 可在 $-100 \sim +150^{\circ}\text{C}$ 范围内能保持良好的机械性能, 并具有优良的耐蠕变性、尺寸稳定性、耐燃性等。鉴于聚砜材料的优异性能, 其广泛应用于制造尺寸精度、热稳定性、刚性要求高的电子电讯零件^[3, 4]。某空地导弹的指令接收天线保护罩 (以下简称天线保护罩) 壁厚为 1.4mm, 具有壁薄、精度高的特点, 采用聚砜棒材机械加工成形。由于聚砜天线保护罩在机械加工和热处理过程中容易开裂^[4], 废品率通常在 30% 左右, 过高的废品率不仅增加了生产成本, 也影响了生产进度。本文针对天线保护罩开裂的原因进行分析和研究, 并通过试验找出减少开裂的措施。

2 零件结构及加工工艺

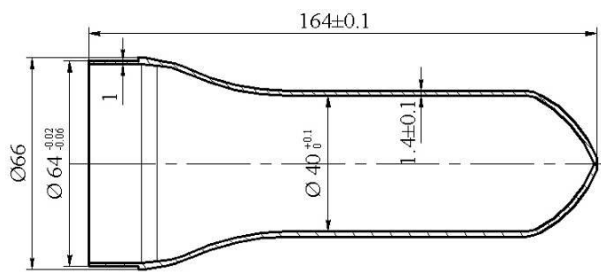


图 1 天线保护罩结构尺寸

天线保护罩的结构如图 1 所示。为满足设计指标要求, 天线保护罩需采用机械加工的方法, 在加工中需解决以下技术难点: 零件为中空薄壁深孔结构, 形

作者简介: 陆建军 (1971-), 工程师, 导航制导与控制专业; 研究方向: 导航制导与控制。

收稿日期: 2014-01-09

状复杂, 内外表面均由多段圆柱面及圆弧面组成, 加工过程中装夹困难、易变形; 外形最大直径为 $\Phi 66\text{mm}$, 壁厚仅为 1.4mm , 加工时材料去除率达到 96%, 内应力易累积、加工变形大; 为了保证罩体的电气性能, 需要严格保证零件的尺寸精度。

根据天线保护罩的结构和聚砜材料的特点, 采用先内孔后外形、粗精加工分开的加工方法, 先用大钻头钻削毛坯孔以去除大部分切削量, 再用镗刀精镗内孔至尺寸要求, 并在内孔中装入与内孔形状相同的支撑工装以减少装夹变形, 最后进行外形精加工。为消除加工产生的内应力, 在毛坯状态、粗加工状态和成品状态各进行一次去应力热处理。

3 开裂原因分析

按上述加工工艺进行了多个批次的生产, 结果表明, 零件存在较为严重的开裂现象, 裂纹主要集中在内圆柱孔与锥形底孔的过渡区域, 如图 2 所示, 因开裂造成的废品率通常在 30% 左右。分析发现, 天线保护罩的开裂集中出现在钻毛坯孔后的热处理过程中, 为解决天线保护罩的开裂问题, 提高产品的合格率, 针对热处理工艺及热处理前各种因素如材料、钻削参数、热处理工艺等开展了试验研究。

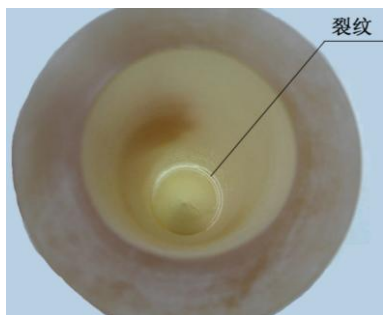


图 2 天线保护罩上的裂纹

3.1 材料

生产中所用的聚砜材料由上海天原集团胜德塑料有限公司提供, 为确定材料是否存在质量问题, 选用德国进口聚砜棒材和上海塑料研究所聚砜棒材进行试验对比, 如图 3 所示。

三种材料相比, 德国进口聚砜棒材颜色最浅, 而上海塑料所聚砜棒材颜色最深。分别选用德国进口聚砜棒材和上海塑料所聚砜棒材按原有工艺进行试验加工, 结果表明, 采用德国进口聚砜棒材加工的天线保

护罩外观较好, 但仍有约 20% 左右产品开裂; 采用上海塑料所聚砜棒材加工的天线保护罩开裂情况也较为严重, 废品率超过 30%。试验表明, 材料因素并非引起聚砜棒材开裂的主要原因。



a 胜德公司聚砜棒材 b 德国进口聚砜棒材 c 上海塑料所聚砜棒材

图 3 聚砜材料对比

3.2 钻削工艺参数

在天线保护罩粗加工中, 需用钻头加工毛坯孔以便于镗刀进入孔内镗孔。综合考虑到聚砜材料的特性、镗刀尺寸及加工效率, 毛坯孔采用 $\Phi 37\text{mm}$ 钻头一次加工到位, 单边留 1.5mm 余量进行后续镗削。由于钻头直径和钻孔深度均较大, 且孔为不通孔, 钻削时大量高温切屑不能及时排出, 切屑、刀具与工件之间的摩擦很大, 造成钻孔时切削力较大; 另一方面聚砜材料导热性差使钻削时热量向工件内部传递速度很慢, 只有小部分热量被刀具带走, 大部分热量在切削狭窄的区域内形成高温^[5]。在大切削力和高切削温度的综合作用下, 零件内部积累了较大的内应力, 当内应力达到一定程度, 会造成零件在应力集中点产生开裂。采用 ANSYS 软件对钻削应力进行仿真, 结果表明, 应力最大的部位出现在内圆柱孔与锥形底孔的过渡区域, 这与天线保护罩的主要开裂区域相吻合。

钻削温度与主轴转速、进给速度等参数密切相关, 为确定钻削工艺参数对保护罩开裂的影响, 采用非接触式方法检测钻头温度, 分析在不同主轴转速和进给速度条件下的钻削温度及零件的废品率, 并通过对比优化钻削工艺参数。

3.2.1 试验方案



图 4 红外线测温仪测量钻头温度

采用 Raytek MT6 红外线测温仪对钻头温度进行测量,测温范围-30~500℃,测温精度±1.5%,具体测量方法如图 4 所示,在钻头钻到深度后,关闭切削液,并迅速退回钻头,用红外线测温仪测量钻头顶部的温度,以此对切削温度的高低进行判断。

3.2.2 主轴转速对钻头温度的影响

主轴转速取 180r/min、230r/min、300r/min、380r/min 和 450r/min 五种,钻削进给速度分别取 0.1mm/r 和 0.2mm/r,在钻孔过程中钻头每次钻深 30mm 左右退刀一次,清除钻屑后再继续钻孔,每种试验条件均用 5 件试验件并对钻头温度求平均,主轴转速对钻头温度的影响见图 5 所示,从图中可以看出,随着主轴转速的提高,钻头温度逐渐增加,在转速≤300r/min 时,钻头温度变化较慢;在转速>300r/min 时,钻头温度急剧升高。

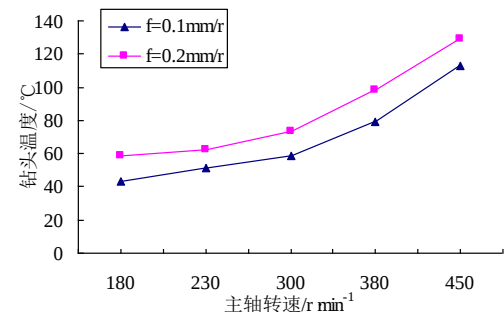


图 5 主轴转速对钻头温度的影响

3.2.3 进给速度对钻头温度的影响

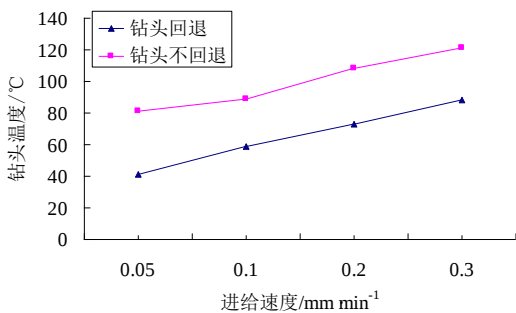


图 6 进给速度对钻头温度的影响

进给速度取 0.05mm/r、0.1mm/r、0.2mm/r 和 0.3mm/r 四种,并按钻头钻深 30 mm 钻头回退一次和 不回退两种情况进行对比,每种试验条件均用 3 件试验件并对钻头温度求平均,进给速度与钻头温度的影响见图 6 所示,从图中可以看出,在进给速度≤0.2mm/min,且钻头回退的条件下,钻头温度小于 80℃;在进给速度>0.3mm/min 或钻头不回退的情况

下,钻头温度大于 80℃。

3.2.4 钻头温度与废品率的关系

按钻毛坯孔时钻头温度的高低对试验件进行分类,并将零件加工至成品(钻毛坯孔后不进行热处理),最终零件的废品率如表 1 所示。从表中可以看出,随着钻头温度的升高,零件的废品率越大,在钻头温度低于 80℃时,零件未出现开裂情况。

表 1 钻头温度与废品率的关系

钻头温度	件数	开裂件数	废品率
<80℃	15	0	0
80~100℃	9	2	22%
>100℃	6	3	50%

3.2.5 钻削工艺参数优化

结合钻削工艺参数对钻头温度的影响关系,并考虑到生产效率,建议选用的钻削工艺参数为:主轴转速 300r/min,进给速度 0.2mm/r,并且每钻深 30mm 左右钻头回退一次。

3.3 热处理工艺

按常规方法,聚砜材料在加工后需进行热处理以消除加工应力,热处理方法为在鼓风烘箱中加热至 150℃,并保温 2h^[4, 6]。在生产中发现,聚砜天线保护罩粗加工后进行热处理极易发生开裂,而在毛坯状态和成品状态进行热处理却从未发生过开裂现象。由于热处理是按照聚砜材料的典型工艺进行的,因此分析认为开裂现象与粗加工后的零件结构有关。

粗加工后的天线保护罩结构见图 7 所示。

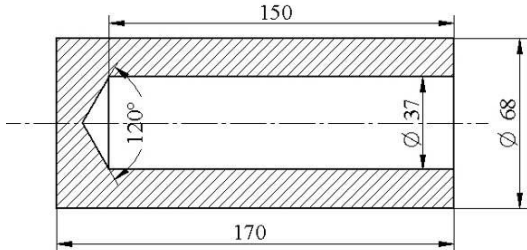


图 7 粗加工后的天线保护罩结构

从图 7 中可以看出,在粗加工状态,零件厚度达到 15.5mm,且在内壁底部为锥孔造成厚度突变。在热处理过程中,壁厚较大的零件由于传热不良,制品表面层与内层冷却不均,使制品内层产生拉伸应力而表层产生压缩应力;而在壁厚突变部位,可能形成棱边应力集中线,从而造成零件开裂。相反,零件在毛
(下转第 40 页)