

## 短纤维增强 PEEK 复合材料钻削表面质量研究\*

Study on Surface Quality of Drilled Short Fiber-Reinforced PEEK Composite

福州大学机械工程及自动化学院 林有希 高诚辉 陈志华

[摘要] 利用热压成型法制备了短纤维增强聚醚醚酮(PEEK)复合材料,在 SXDK6050 型数控雕刻机上分别用高速钢、硬质合金、TiN 涂层麻花钻头干钻削加工复合材料,并测量孔表面粗糙度,以研究不同的切削参数、纤维类型、纤维含量以及不同材质的刀具对钻削加工表面质量的影响。

关键词:短纤维 PEEK 钻削 表面粗糙度

[ABSTRACT] The short fiber-reinforced PEEK composite is prepared by hot-press forming method. The composite is dry drilled by twist drill head made of high-speed steel, cemented carbide and TiN coat on CNC engraving machine SXDK6050. The surface roughness of hole is tested to study the effects of different cutting parameters, fiber types, fiber contents and materials of cutting tool on surface quality.

Keywords: Short fiber PEEK Drill Surface roughness

聚醚醚酮(PEEK)特殊工程塑料是 80 年代研发的一种全芳香族半结晶热塑性高分子材料,由于其大分子链上含有刚性的苯环和柔顺的醚键及羰基,且结构规整,因此具有优良的机械性能、耐腐蚀、耐蠕变、抗辐射、抗疲劳以及显著的热稳定性,作为高性能复合材料的基体在航空、航天、航海、机械、电气等工程领域具有广泛的应用前景<sup>[1-3]</sup>。但由于其玻璃化温度较低,高温下机械性能下降明显,为满足工程上制造高性能零部件的需要,常对 PEEK 进行纤维复合增强改性,以得到性能更加优越的材料。碳纤(CF)和玻纤(GF)作为常用增强纤维,其增强的 PEEK 复合材料得到广泛研究<sup>[4-7]</sup>。晶须作为单晶发育的短纤维,尺寸小,具有纤维增强作用且填充成型性能良好,尤其无机盐晶须价格低廉,因此采用这种材料对聚合物填充改性的潜力巨大。高性能复合材料在成型后往往需要进行机械切削加工,但由于纤维硬质增强相的加入,复合材料在加工过程中容易产生撕裂、收缩、起毛等缺陷,

而刀具磨损钝化容易造成材料损伤、加工精度和表面质量不易保证<sup>[8-9]</sup>等问题。目前关于纤维增强 PEEK 复合材料切削性能的研究仅限于车削加工方面<sup>[10-11]</sup>。本课题以碳纤、玻纤和无机盐晶须增强的 PEEK 复合材料为研究对象,探讨纤维含量、切削参数、刀具材料等对钻削加工表面质量的影响,为短纤维增强 PEEK 复合材料的工程应用提供参考。

## 1 实验

## 1.1 实验材料和制备

实验采用的 PEEK 原料密度为  $1.32\text{g/cm}^3$ ,粒度小于  $100\ \mu\text{m}$ ;白色  $\text{CaCO}_3$  晶须,长度  $20\sim 30\ \mu\text{m}$ ,密度  $2.86\text{g/cm}^3$ 。原料在 150 充分干燥 3 h,混合后放入热压模具中熔融、成型,降温到 100 时脱模冷却到室温,试样在 250 条件下热处理 1h。将试样加工成  $60\text{mm}\times 30\text{mm}\times 6\text{mm}$  的样条供加工测试使用。

## 1.2 试验方法

钻削机床为 SXDK6050 型数控雕刻机,主轴最高转速  $24\ 000\text{r/min}$ ,主轴最大功率  $2.2\text{kW}$ 。刀具选用  $\phi 6\text{mm}$  的高速钢(HSS)麻花钻头、整体式硬质合金麻花钻头和 TiN 涂层麻花钻头;采用干钻削加工方式,以避免切削液对加工质量的影响。用 XSG 型双管显微镜测量孔表面粗糙度,测孔壁微观不平度十点高度  $R_z$ ,取样长度为  $2.5\text{mm}$ ,取评定长度范围内的 4 个  $R_z$  值的平均值作为测量结果。

## 2 结果与分析

## 2.1 纤维类型对表面粗糙度的影响

图 1 表示以不同进给量钻削 30%纤维含量(质量分数)的 CF/PEEK、GF/PEEK、 $\text{CaCO}_3$ /PEEK 复合材料的孔壁粗糙度曲线。钻削条件为:高速钢钻头,主轴转速  $(n) 2\ 000\text{r/min}$ ,进给量  $(f)$  为  $0.01\sim 0.09\text{mm/r}$ 。可以看出,在不同进给量下,钻削碳纤增强 PEEK 复合材料孔壁粗糙度值都是最大的,玻纤增强复合材料次之,晶须增强 PEEK 复合材料最小。这是因为碳纤维是一种高强、高模量、高耐磨增强相,硬度高(HRC53~65),相当于高速钢的硬度(HRC62~65),高速钢钻头在钻

\* 高等学校博士学科点专项科研基金(20060386008)。

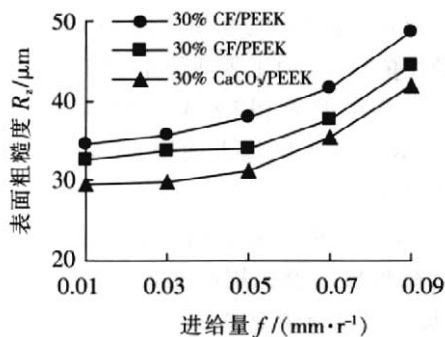


图1 纤维类型对孔壁粗糙度的影响

Fig.1 Effects of fiber types on surface roughness of hole wall

削 CF/PEEK 复合材料的过程中钻头与碳纤维发生剧烈的磨料摩擦, 刀具磨损严重, 产生大量的切削热, 而 PEEK 基体在切削热的作用下熔化, 随后重新凝结在孔壁表面, 在孔表面形成一道道的走刀轨迹, 致使粗糙度值增大。而晶须对 PEEK 复合材料的增强阻止了复合材料钻削时的受力和受热变形, 同时小尺寸效应在钻削过程中能有效减小刀具对复合材料孔壁表面粗糙度的影响, 提高加工表面质量。

## 2.2 纤维含量对表面粗糙度的影响

为考察不同增强纤维含量对孔壁表面粗糙度的影响, 对 20%CF/PEEK 和 30%CF/PEEK 复合材料用高速钢刀具进行钻削(主轴转速  $n$  为 2 000r/min), 实验结果如图 2 所示。由图可见, 30%碳纤维的复合材料加工表面粗糙度值在不同的进给量条件下都比含 20%碳纤维复合材料的大。这是因为随着碳纤维含量增加, 钻削过程中高强碳纤维与高速钢钻头摩擦更剧烈, 刀具磨损更严重, 产生的切削热更多, 而切削温度的升高使得 PEEK 基体软化程度加剧, 刀具对切削层材料挤压增大, 最终使得表面粗糙度值增大。

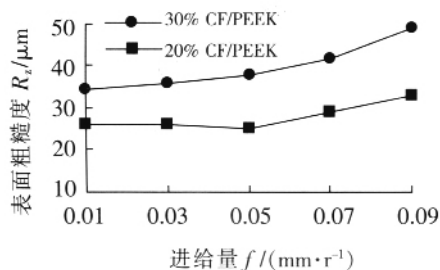


图2 碳纤维含量对孔壁粗糙度的影响

Fig.2 Effects of fiber contents on surface roughness of hole wall

## 2.3 切削参数对表面粗糙度的影响

由图 1 可见, 在相同主轴转速 ( $n=2\ 000\text{r}/\text{min}$ ) 时, 当进给量在 0.01~0.09mm/r 范围内变化时, 以上 3 种纤维增强复合材料的孔壁粗糙度值都随刀具进给量的增加而增大, 当进给量大于 0.05mm/r 后, 表面粗糙度值的增加幅度更大。这是因为在钻削过程中, 随着进给量的增大, 切削厚度增加, 作用在钻头上的力增加, 刀具对孔壁材料的挤压作用增大, 致使表面粗糙度值随之增大。

用高速钢刀具钻削, 将进给量固定为 0.05mm/r, 在不同的切削速度下, 考察切削速度对复合材料粗糙度的影响, 结果如图 3 所示。可见这 3 种纤维增强复合材料孔壁粗糙度值都随切削速度的增加而增大, 碳纤维增强 PEEK 复合材料粗糙度值在 100~300mm/min 速度变化范围内最大, 且随切削速度增加更为明显, 玻纤和晶须增强复合材料则变化比较平缓。对比图 1 和图 3 可知, 进给量对孔壁粗糙度的影响比切削速度对粗糙度的影响大。随着切削速度增加, 复合材料切削区的温度升高, 而钻削属半封闭切削, 切削热难以有效散发出去, 切削层材料塑性变形加剧, 切削层材料因切削热而具有一定的粘性, 产生积屑瘤, 伴随着积屑瘤的产生和脱落, 加工表面质量下降。

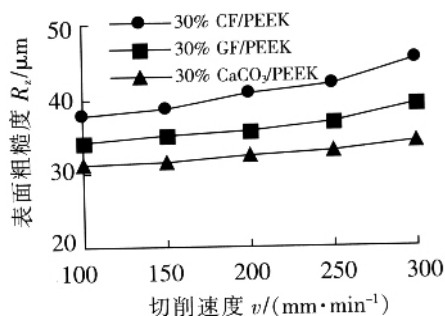


图3 切削速度对孔壁粗糙度的影响

Fig.3 Effects of cutting speeds on surface roughness of hole wall

## 2.4 刀具材质对粗糙度的影响

分别再用硬质合金钻头和 TiN 涂层钻头钻削 30%纤维含量的 PEEK 复合材料, 并与高速钢钻头对比, 考查采用不同材质的刀具进行钻削对粗糙度影响。钻削条件: 主轴转速 2 000r/min, 进给量 0.01~0.09mm/r, 结果如图 4 所示。

由图可见, 在不同的进给量下, 无论是钻削玻纤增强、碳纤增强还是晶须增强复合材料, 采用硬质合金钻头钻削的孔壁粗糙度值比用高速钢钻头和 TiN

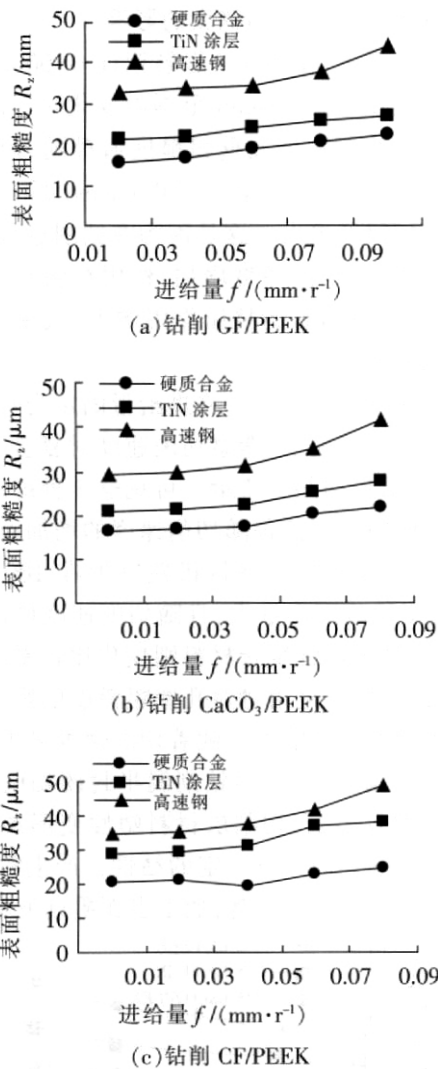


图4 不同刀具钻削 GF/PEEK、 $\text{CaCO}_3$ /PEEK 和 CF/PEEK 的粗糙度

Fig.4 Surface roughness of GF/PEEK,  $\text{CaCO}_3$ /PEEK and CF/PEEK drilled by different cutting tools

涂层钻头钻削的小。这是因为硬质合金钻头具有比较高的硬度和刚性, 钻削时刀具磨损小, 甚至比高速钢钻头要小一个数量级, 这样不仅刀具寿命增长, 且刀具比较锋利, 对孔壁的挤压作用小, 工件材料变形小, 因此表面粗糙度值小。TiN 涂层刀具的磨损量也比高速钢刀具小, 而高速钢钻头由于磨损量最大, 钻削后的孔壁粗糙度也最大。因此在实际生产中加工纤维增强复合材料时, 应采用硬质合金刀具甚至金刚石刀具, 而避免使用高速钢刀具。

### 3 结论

(1) 在相同条件下, 碳纤增强 PEEK 复合材料钻

孔的表面粗糙度值最大, 晶须增强 PEEK 复合材料钻孔的粗糙度值较小, 加工表面质量较高。

(2) 短纤维增强 PEEK 复合材料钻孔粗糙度值随进给量、切削速度的增大而增大, 且受进给量的影响比切削速度大。

(3) 钻削 PEEK 复合材料时, 采用硬质合金钻头钻削的孔壁粗糙度值比用高速钢和 TiN 涂层钻头钻削的小, 加工表面质量更高。

### 参 考 文 献

- [1] Weidig R. Sealing under extreme conditions: PEEK for gaskets and seals in automotive construction. *Kunststoffe Plast Europe*, 2002, 92(1): 26-27.
- [2] John DeGaspari. Metallized PEEK. *Mechanical Engineering, Wilson Applied Science & Technology Abstracts*, 2001, 123(5): 16.
- [3] 林有希, 高诚辉. PEEK 的改性及应用. *工程塑料应用*, 2005, 33(9): 64-68.
- [4] Kim Young-Nam, Im Kwang-Hee, Kim Sun-Kyu. Energy absorption characteristics of CFRP composite tubes under axial compression load. *Key Engineering Materials*, 2002, 233-236 (1): 245-250.
- [5] Yang In-Young, Kim Young-Nam, Ra Seung-Woo. The effects of temperature change on the bending strength of CF/PEEK laminates after impact. *Key Engineering Materials: Advances in Nondestructive Evaluation*, 2004, 270-273(3): 1 917-1 922.
- [6] Chantel G L, Gerald N M, Emma A T, et al. Normal and oblique hypervelocity impacts on carbon fibre/PEEK composites. *International Journal of impact engineering*, 1999, 23: 519-532.
- [7] Fujihara K, Huang Z, Ramakrishna S. Influence of processing conditions on bending property of continuous carbon fiber reinforced PEEK composites. *Composites Science and Technology*, 2004, 64(16): 2 525-2 534.
- [8] 张厚江, 陈五一, 陈鼎昌. 碳纤维复合材料(CFRP) 钻孔出口缺陷的研究. *机械工程学报*, 2004, 40(7): 150-155.
- [9] 张厚江, 陈五一, 张鼎昌. 碳纤维复合材料切削机理的研究. *航空制造技术*, 2004, (7): 57-59.
- [10] Reis Pedro, Lapa Vitor, Paulo Davim J, et al. Machinability study on polyetheretherketone (PEEK) unreinforced and reinforced (GF30) for applications in structural components. *Composite Structures*, 2003, 62(1): 67-73.
- [11] Rahman M, Ramakrishna S, Thoo H C. Machinability study of carbon/PEEK composites. *Machining Science and Technology*, 1999, 3(1): 49-59.

(责编 徽凉)