

C/E 复合材料“以磨代钻”制孔工艺

鲍永杰¹ 高航¹ 董波² 李兰柱²

(1 大连理工大学精密与特种加工教育部重点实验室,大连 116024)

(2 航天材料及工艺研究所,北京 100076)

文 摘 为了提高 C/E 复合材料构件制孔加工质量,以 C/E 复合材料为研究对象,提出“以磨代钻”制孔新工艺,并研制了电镀金刚石刀具。与传统硬质合金刀具钻孔工艺进行对比试验,结果表明:金刚石刀具钻削轴向力降低 30%~50%、刀具耐用度提高 3~5 倍、缺陷显著减少,更适合 C/E 复合材料钻孔加工。

关键词 C/E 复合材料,“以磨代钻”刀具,钻孔,缺陷,轴向力

Drilling Process of C/E Composites With Grinding Tool

Bao Yongjie¹ Gao Hang¹ Dong Bo² Li Lanzhu²

(1 Key Laboratory for Precision and Non-Traditional Machining Technology of Ministry of Education,

Dalian University of Technology, Dalian 116023)

(2 Aerospace Research Institute of Materials & Processing Technology, Beijing 100076)

Abstract Carbon fiber reinforced plastics is one of typical difficult-to-machine materials which will easily bring on disfigurements such as burrs, delamination and avulsion during drilling. In order to improve the drilling quality, the carbon fiber/epoxy (C/E) composite was studied, and a grinding drill and its new process were developed. Some experiments on the grinding tool were carried out. The results show that the thrust force decreases by 30%~50%, the tool life is improved by 3 to 5 times and the disfigurements are minimized compared with the traditional carbide twist drill.

Key words C/E composite, Grinding tool, Drilling, Disfigurement, Thrust force

1 引言

在航空航天制造领域,硬质合金麻花钻头作为一种传统的加工刀具大量用于结构件的生产^[1-3]。对于新型复合材料结构件,硬质合金刀具存在着耐用度偏低、出口质量无法保证等瓶颈^[4-6]。在通过改进制孔工具和工艺方面,国内外学者开展了很多研究,J. R. Ferreira 通过实验得出了切削 C/C 复合材料的最佳刀具为 PCD 刀具^[7]。国外一些大公司为了解决难加工复合材料切削问题,开发出了许多特殊刀具,如波音飞机公司针对芳纶纤维增强复合材料加工问题,开发了一种贯穿全长的单向四槽螺旋硬质合金铣刀,靠近刃口有一个反方向的螺旋槽,开槽与刀具轴线成 20°,较好地解决了切削热问题^[6]。虽然这些刀具改善了 C/E 复合材料的钻孔质量,但仍然存在一些问题,例如,PCD 刀具脆性大,易发生崩刃现象,且

价格昂贵。另外,采用传统切削方式钻削 C/E 复合材料仍无法避免纤维方向对钻孔质量产生的影响,因此新的制孔工艺值得深入研究^[8]。

本文针对 C/E 复合材料特点和国内生产加工的实际情况,开发基于“以磨代钻”制孔工艺的电镀金刚石刀具,研究电镀金刚石刀具在切削力、刀具耐用度、钻孔质量等方面的特点,探索 C/E 复合材料构件高效、高质量制孔新工艺。

2 “以磨代钻”制孔工艺

2.1 电镀金刚石刀具研制

如图 1 所示。电镀金刚石刀具切削原理和普通的钻头不同,电镀金刚石刀具钻孔的实质为“以磨代钻”,钻削过程中每一个磨粒的运动轨迹是螺旋线。刀具端面上的磨粒为主切削部分,这些磨粒大多数是负前角,一个具有很大的负前角的切削刃以很高的速度

收稿日期:2010-06-29

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50875034);国家 863 计划资助项目(SQ2008AA04XK1478912)

作者简介:鲍永杰,1980 年出生,博士,主要从事 C/E 复合材料制孔技术研究工作。E-mail:yongjie1980@126.com

切入复合材料表面,磨粒切削刃和纤维之间产生摩擦、挤压作用,并且克服 C/E 和基体的弹性变形的阻力而形成切屑。



图1 电镀金刚石刀具照片

Fig.1 Picture of electroplated diamond tool

2.2 钻削试验系统

钻削试验系统如图2所示,该系统由 Z1000 型非标钻磨机床和钻削力测量系统组成。钻削力测量系统由 YDZ-II 01W 压电石英钻削测力仪、YG5850 电荷放大器、A/D 信号采集卡和计算机等组成。

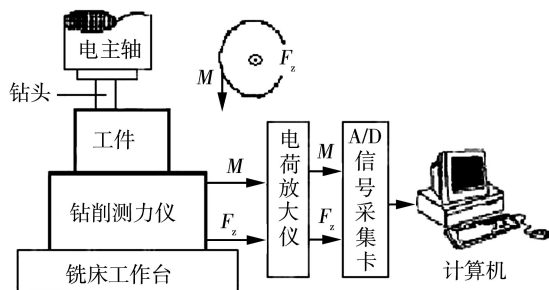


图2 钻削测力系统原理示意图

Fig.2 Schematic of experiment system

钻削试验材料为 C/E 复合材料,其中增强体为 T300,基体材料是 AG-80 树脂,铺层方式为 $\pm 45^\circ/0^\circ/90^\circ/0^\circ$,纤维体含量为 $(60 \pm 5)\%$,试件厚度 4 mm。试验中电镀金刚石刀具直径 $\Phi 5$ mm,金刚石粒度 80 $\#$ 。为了更好的说明电镀金刚石刀具的特点,试验中采用 $\Phi 5$ mm 硬质合金钻头与其在钻削轴向力、刀具耐用度、加工质量等方面进行对比试验研究。

3 结果与分析

3.1 钻削轴向力对比

钻削轴向力是影响 C/E 复合材料钻孔质量的重要因素,是引起各种缺陷的直接原因。图3为硬质合金钻头与电镀金刚石刀具钻削轴向力对比曲线(钻头转速 9 000 r/min,进给速度为 25 mm/min),由图3可知,硬质合金钻头钻削时,轴向力由零逐渐增大,这是因为参与切削的切削刃长度由零开始逐渐增大,钻削力也逐渐增大;当钻头的主切削刃全部参与切削时,轴向力达到最大值,此后由于参与切削的切削刃长度保持不变,轴向力保持不变;在钻头钻出过程中,底层材料对钻头的支撑刚性减小而产生让刀现象,轴

向力开始下降直至为零。由于本次试验中材料厚度小,在钻头主切削部分全部参与切削时钻尖已经到达材料底部,轴向力在达到最大值后立即下降,轴向力曲线呈三角形。而在电镀金刚石刀具开始钻入时,轴向力由零迅速增加到最大值,直至刀具钻出之前,轴向力保持不变,当刀具钻出的瞬间,轴向力迅速减小为零。电镀金刚石刀具的主切削部分是许多带有锋利的微小切削刃磨粒所形成的圆环形,与同直径普通钻头相比,其切削面积大大减小,使切削力大幅度降低,电镀金刚石刀具轴向力变化平稳,比硬质合金钻头的最大轴向力下降 30%~50%。

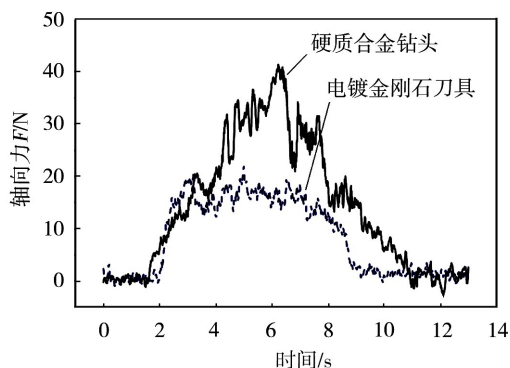


图3 两种钻头钻削轴向力对比曲线

Fig.3 Compared curves of thrust force by two drills

3.2 钻孔质量对比

图4为采用硬质合金钻头钻孔照片,可以看到,在孔的入口和出口都存在明显的毛刺和纤维未切断现象,孔壁比较粗糙,加工质量不理想。图5为电镀金刚石刀具在相同工艺参数下钻孔质量照片,从图5中可知,孔入口处无任何缺陷,加工质量好,在出口处存在微小毛刺,但与硬质合金钻头钻孔相比,加工质量有很大的提高。

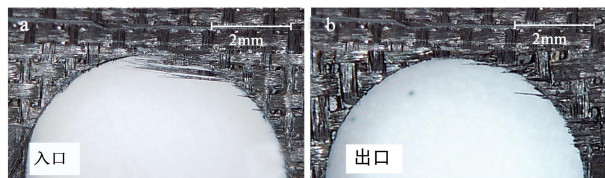


图4 硬质合金钻头钻孔照片

Fig.4 Hole drilled by carbide twist drill

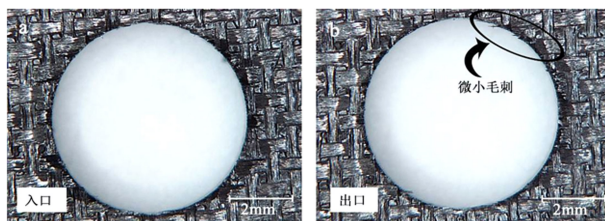
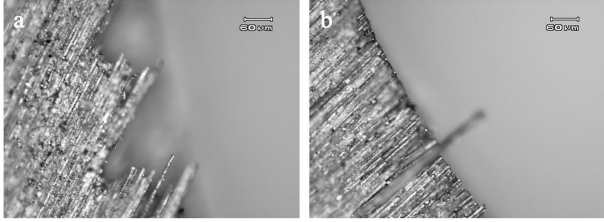


图5 电镀金刚石刀具钻孔照片

Fig.5 Hole drilled by electroplated diamond tool

图6为两种刀具钻孔孔边缘显微照片,硬质合金钻头钻孔时,纤维在切削刃的作用下,形成锯齿状表面。而电镀金刚石刀具钻孔孔边平整、纤维整齐,这种现象主要是由于电镀金刚石刀具的去除机理是“以磨代钻”,因此材料表面质量较好。



(a) 硬质合金钻头 (b) 电镀金刚石刀具

图6 孔边显微照片对比

Fig. 6 Micrographs of hole drilled by two drills

3.3 刀具耐用度对比

图7为两种刀具在相同条件下,钻削C/E复合材料时的钻削轴向力随钻孔个数的对比曲线。可以看到,随着钻孔个数的增加,钻削轴向力增大,这种规律两种刀具是一样的。硬质合金钻头钻削时,钻削轴向力增加幅度远远大于电镀金刚石刀具。

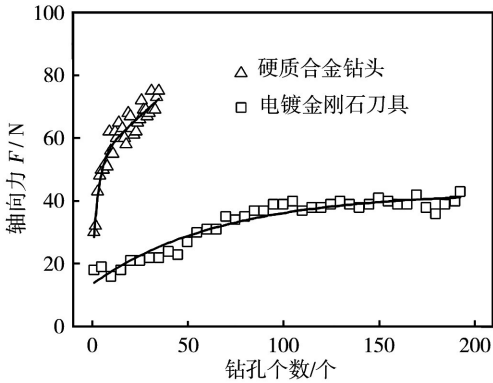


图7 刀具磨损对比曲线

Fig. 7 Comparison curves of tool life

在刀具耐用度方面,电镀金刚石刀具由于金刚石磨粒的硬度高,其耐用度是硬质合金钻头的3-5倍,

同时硬质合金钻头在钻孔个数到30个左右时,钻削轴向力值已经是电镀金刚石刀具的2-3倍,刀具磨损严重,钻孔质量迅速降低,加工质量无法保证;而电镀金刚石刀具钻削轴向力变化平稳,加工质量基本没有变化。

4 结论

基于“以磨代钻”工艺而研制的电镀金刚石刀具能够很好的解决钻孔中所存在的问题,与硬质合金钻头钻孔相比可以获得理想的钻孔质量、轴向力降低30%-50%、刀具耐用度提高3-5倍,更适合C/E复合材料制孔加工。

参考文献

[1] 贺福,李润民. 碳纤维在国防军工领域中的应用(1)[J]. 高科技纤维与应用,2006,31(12):5-10

[2] Karnik S R, Gaitonde V N, Rubio J C, et al. Delamination analysis in high speed drilling of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) using artificial neural network model [J]. Materials and Design, 2008, 29(9): 1768-1776

[3] Hocheng H, Tsao C C. The path towards delamination-free drilling of composite materials[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2005, 167(2/3): 251-264

[4] 郭恩明. 国外飞机柔性装配技术[J]. 航空制造技术, 2005(9): 28-32

[5] Jin Z J, Bao Y J, Gao H. Disfigurement formation and control in drilling carbon fibre reinforced composites[J]. International Journal of Materials and Product Technology, 2008, 31(1): 46-53

[6] Smock D. 波音 787: 复合材料革命的代表[J]. 工业设计, 2007(9): 46-48

[7] Ferreira J R, Coppini N L, Levy Neto F. Characteristics of carbon-carbon composite turning[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2001, 109: 65-71

[8] 张厚江, 陈五一, 陈鼎昌. 碳纤维复合材料钻孔出口缺陷的研究[J]. 机械工程学报, 2004(7): 150-155

(编辑 李洪泉)