

SiC_p/Al 复合材料低损伤磨削制孔工艺研究

鲍永杰¹ 曹波¹ 李兰柱² 高航¹

(1 大连理工大学机械工程学院,大连 116023)

(2 航天材料及工艺研究所,北京 100076)

文 摘 采用研制的 $\Phi 4$ mm 金刚石磨料刀具,研究 SiC_p/Al 复合材料磨削制孔过程中工艺参数对轴向力和孔质量的影响规律。结果表明:刀具转速高于 6 000 r/min、进给速度为 5 mm/min 时,可以获得较好的制孔质量。

关键词 铝基复合材料,钻孔,轴向力,缺陷

Low Damage Drilling Process of SiC_p/Al Composites by Grinding Tools

Bao Yongjie¹ Cao Bo¹ Li Lanzhu² Gao Hang¹

(1 School of Mechanical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116023)

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

Abstract In order to improve the drilling quality, diamond abrasive tool is developed. Some experiments on the grinding tool are carried out. The variations of thrust force and hole quality influenced by process parameters are investigated. The results show that better hole quality can be reached when rotate speed is more than 6 000 r/min and feed speed is 5 mm/min.

Key words Aluminum matrix composites, Drilling, Thrust force, Damage

0 引言

SiC_p/Al 具有高比强度和比模量、耐高温、耐磨损、热胀系数小、抗磁抗振性好以及尺寸稳定性好等优异的物理和力学性能,在航空航天和军事等领域得到越来越广泛的应用。SiC_p/Al 复合材料在构件的装配过程中,需要加工许多孔,加工时孔的入口和出口经常发生崩边现象,增强相 SiC 颗粒硬度较大(莫氏硬度 9.5),传统的硬质合金刀具硬度(莫氏硬度 6.5)低于 SiC 颗粒,颗粒与刀具的摩擦容易导致刀具的剧烈磨损,甚至折断在孔里无法取出,造成经济损失^[1]。因此制孔是 SiC_p/Al 复合材料加工的难点之一。

目前国内学者对于 SiC_p/Al 复合材料制孔的研究主要集中于低体积分数的 SiC_p/Al 复合材料,倪俊芳对体积分数为 20% 的 SiC_p/Al 复合材料进行钻削实验,研究了不同种类刀具的磨损情况和制孔质量^[2]。研究表明,高速钢钻头无法加工材料,硬质合金钻头可以钻削数个孔,但是刀具磨损很严重,加工

孔表面粗糙度较大,孔出口处出现崩边现象。Tosun Gul 研究了不同刀具钻削体积分数为 17% 的 SiC_p/Al 复合材料效果,研究表明,高速钢和整体硬质合金麻花钻制孔质量很差,TiN 涂层高速钢麻花钻可以获得较好的制孔效果^[3]。随着 SiC 增强相体积分数的增加,材料的可加工性变差,目前国内外对体积分数高于 40% 的铝基复合材料制孔加工方面仍鲜有报道。本文提出了磨削制孔方法,可以有效地解决刀具磨损问题,根据 SiC_p/Al 复合材料实际加工需求,采用 $\Phi 4$ mm 磨削制孔刀具,并通过试验研究了刀具转速和进给速度对钻削力和制孔质量的影响。

1 SiC_p/Al 复合材料磨削制孔原理

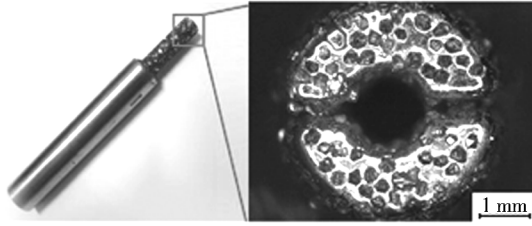
SiC_p/Al 复合材料磨削制孔刀具端面 and 侧面均电镀一层金刚石颗粒,刀具采用中空结构[图 1(a)]。磨削制孔原理和普通的麻花钻制孔原理不同,钻削过程中每一个磨粒的运动轨迹是螺旋线^[4][图 1(b)]。磨粒大多数是负前角,具有负前角的切削刃以很高的速度切入 SiC_p/Al 复合材料表面,磨粒切削刃和增强

收稿日期:2013-06-21;修回日期:2013-08-15

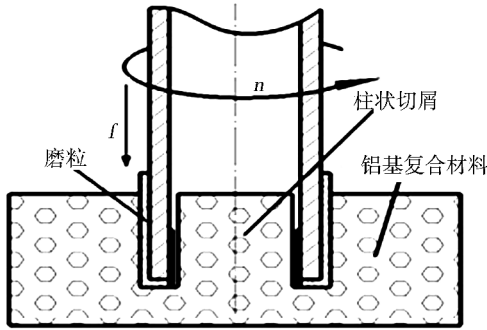
基金项目:国家自然科学基金资助(51105054)

作者简介:鲍永杰,1980 年出生,工程师,博士,主要从事 C/E 复合材料制孔技术研究工作。Email: byj@dlut.edu.cn

相 SiC 颗粒之间产生摩擦、挤压作用,并且克服基体 Al 的塑性变形的阻力而形成切屑。刀具磨粒群分布在刀具圆环形端面,钻孔过程中,钻孔中心形成柱状切屑,当钻出材料后,柱状切屑脱落完成孔的加工。



(a) 磨削制孔刀具



(b) 磨削制孔原理

图 1 SiC_p/Al 复合材料磨削制孔刀具及原理

Fig. 1 Grind-drilling tool and principle of drilling of SiC_p/Al

2 试验方案

使用自制的 DG-100 三轴联动数控机床,采用 Kistler9257B 三向测力仪对制孔时的轴向切削力进行测量,测得的信号经过电荷放大器 Kistler5007 处理后,利用数据采集卡 USB8516 进行数据采集,并储存在计算机中。试验结束通过 VHX-600E 型超景深三维显微镜对孔入口和出口质量进行观测(图 2)。

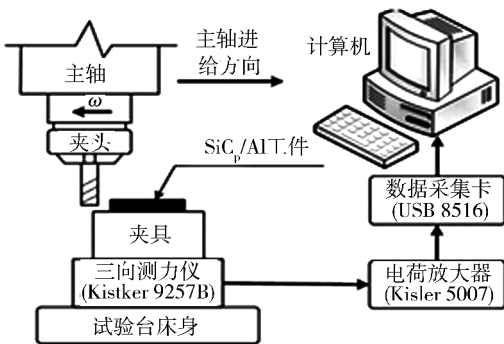


图 2 测力系统原理示意图

Fig. 2 Schematic of experiment system

试验材料为铝基复合材料,增强体为 SiC 颗粒,体积分数为 45%,颗粒尺寸为 2~8 μm。材料金相组织如图 3 所示。试验采用电镀金刚石刀具,粒度为 140[#]/170[#],刀具外孔直径 4 mm,内孔直径 3 mm,如图 1(a)所示。加工参数:转速为 3 000、4 000、5 000、6 000、7 000 r/min,进给速度为 2、5、8、10 mm/min。宇航材料工艺 <http://www.yhclgy.com> 2013 年 第 5 期

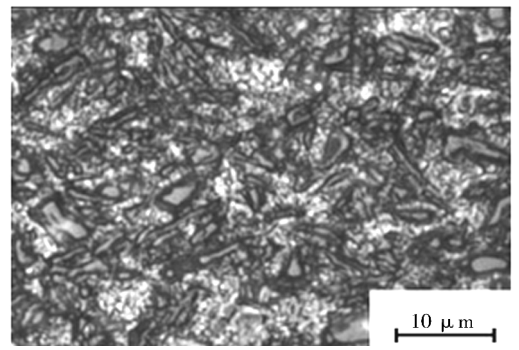


图 3 SiC_p/Al 材料金相组织

Fig. 3 SiC_p/Al metallographic micro-structure

3 试验结果与分析

3.1 磨削制孔轴向力变化规律

轴向力是影响复合材料制孔质量的重要因素,是引起各种缺陷的直接原因^[5]。电镀金刚石磨削刀具钻孔时,轴向力变化趋势如图 4 所示。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,轴向力整体稳定,局部小范围波动。这主要是由于磨削制孔刀具主切削刃为刀具前端面,某时刻刀具端面同时接触材料进行加工,轴向力在加工初期和中期由于材料未切削部分相对已切削部分来讲厚度还较大,承载能力较强,因而轴向力较为平稳。在加工结束阶段,材料的未切削部分已很薄,承载能力降低,磨削材料所需轴向力减小,因而轴向力均呈现快速下降趋势。直到加工完毕,轴向力迅速减小为零。

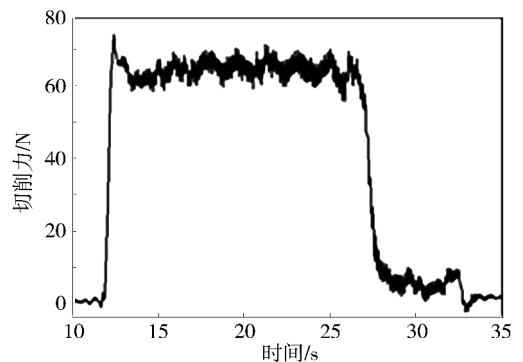


图 4 电镀金刚石刀具切削力变化趋势

Fig. 4 Tendency of thrust force by diamond abrasive tool

3.2 工艺参数对轴向力影响规律

图 5 反映了刀具转速对轴向力的影响趋势,刀具进给速度一定,随着转速的提高,轴向力呈现较为明显的下降趋势。这是由于进给速度一定的情况下,刀具转速越高,每转去除的材料越少,因而轴向力越小。转速 n 从 3 000 r/min 升至 7 000 r/min 的过程中,轴向力下降了近 38%。

图6反映了刀具进给速度对轴向力的影响趋势,转速一定的情况下,进给速度越大,单位时间内刀具切削材料的总量增多,因此轴向力增大。进给速度从2 mm/min 升至 10 mm/min 的过程中,轴向力上升了近30%。

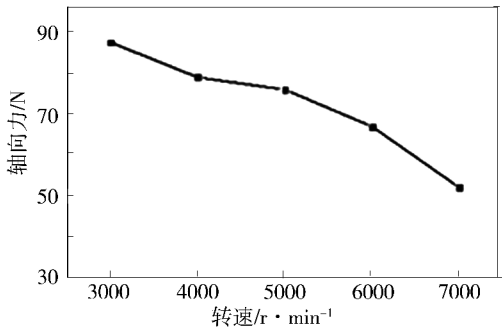


图5 转速对轴向力的影响($f=5 \text{ mm/min}$)
Fig.5 Tendency of thrust force influenced by rotate speed

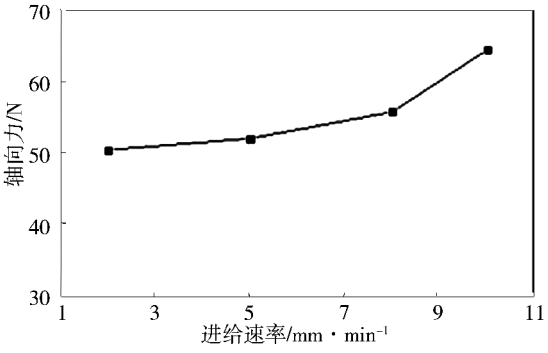


图6 进给速度对轴向力的影响($n=6000 \text{ r/min}$)
Fig.6 Tendency of thrust force influenced by feed speed

3.3 刀具转速对制孔质量的影响

进给速度一定的情况下,如图7、图8所示,转速为3000 r/min时,孔入口质量良好,但出口处存在明显的崩边现象。随着转速的提高,出口处的崩边缺陷逐渐减小,转速达到6000 r/min时,孔入口和出口都获得了良好的加工质量。

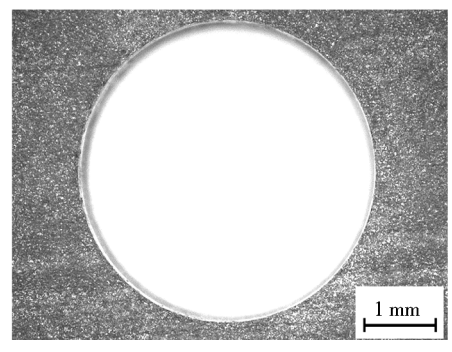
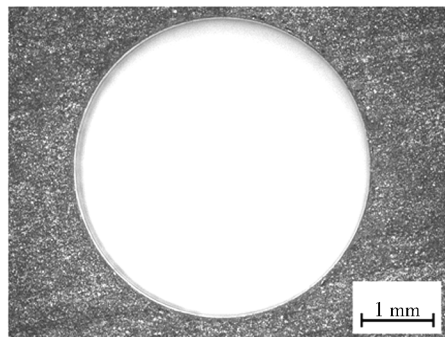


图7 转速对制孔入口质量影响($f=5 \text{ mm/min}$)
Fig.7 Entrance quality influenced by rotate speed

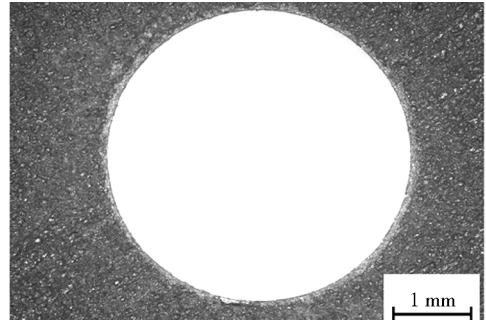
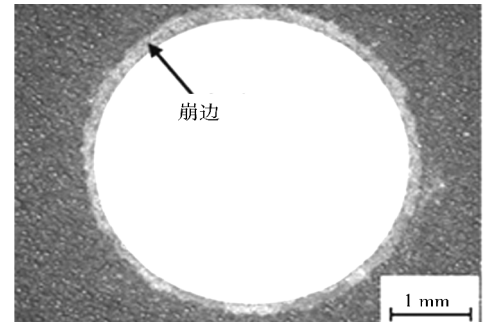


图8 转速对制孔出口质量影响($f=5 \text{ mm/min}$)
Fig.8 Exit quality influenced by rotate speed

轴向力是影响制孔质量最重要的因素之一。孔入口受到刀具轴向压应力的作用,由于材料未切削部分相对已切削部分厚度较大,承载能力较强,因此一般不会出现明显崩边现象。图9为孔出口缺陷截面。

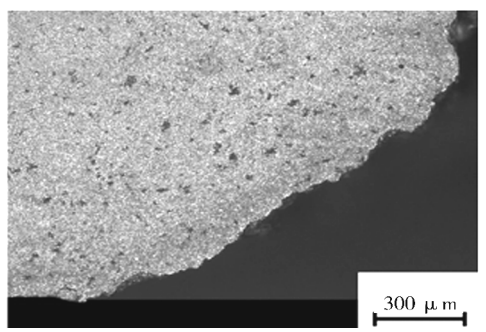


图9 制孔出口缺陷侧壁观测
($n=3000 \text{ r/min}, f=5 \text{ mm/min}$)

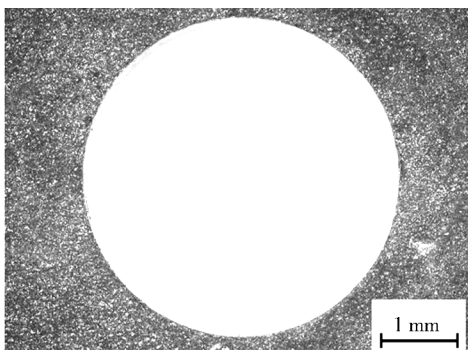
崩边现象是SiC_p/Al复合材料最常见的制孔加工
宇航材料工艺 <http://www.yhclgy.com> 2013年 第5期

工缺陷,主要因为 SiC 颗粒增强相的体积分数较高,使材料呈现出脆性特征。制孔出口侧材料没有束缚,承载强度最低,在轴向力的作用下,裂纹扩展加速,并随着刀具的深入逐渐扩展,当扩展程度大于孔的直径时便形成了崩边缺陷。从工艺参数对轴向力的影响规律分析可知,转速提高后轴向力减小,因此,加工质量提高。

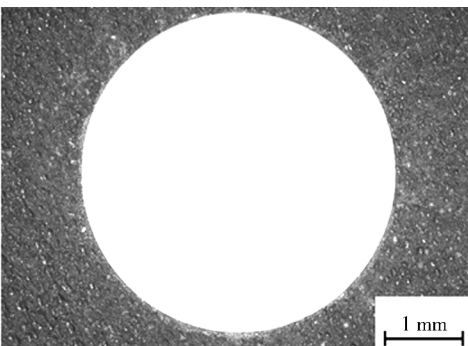
3.4 进给速度对制孔质量的影响

进给速度增大可以提高加工效率,因此在保证加工质量的前提下,希望能采用较高的进给速度。通过上面的分析可知,钻头转速在达到 6 000 r/min 可以获得良好的钻孔质量,因此,试验分析此转速下进给速度变化对加工质量的影响。

图 10、图 11 为进给速度为 5 和 8 mm/min,孔入口和出口的加工质量照片,进给速度小于 5 mm/min 时,孔入口和出口质量都良好。当进给速度达到 8 mm/min 时,孔入口处仍可获得良好的加工质量,但在出口处加工质量略有降低,能够明显地看到崩边缺陷。



(a) $f=5$ mm/min

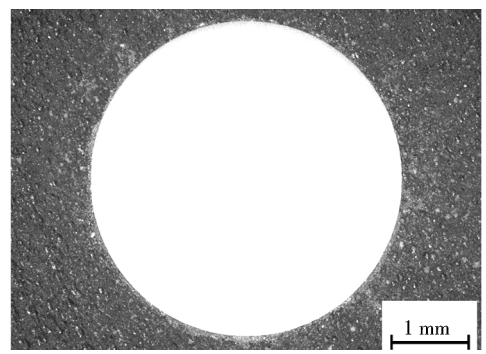


(b) $f=8$ mm/min

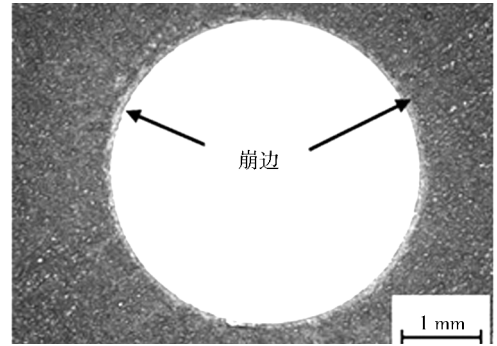
图 10 进给速度对制孔入口质量影响($n=6\ 000$ r/min)

Fig. 10 Entrance quality influenced by feed speed

在试验参数范围内,随着进给速度的增大孔入口加工质量变化不大,均可以获得较为良好的加工质量;孔出口处的加工质量随进给速度增加有降低的趋势,当进给速度达到 8 mm/min 时有明显的崩边现象。因此,在转速为 6 000 r/min 条件下,进给速度应在 5 mm/min 以下。



(a) $f=5$ mm/min



(b) $f=8$ mm/min

图 11 进给速度对制孔出口质量影响($n=6\ 000$ r/min)

Fig. 11 Exit quality influenced by feed speed

4 结论

利用金刚石的高硬度而研制的电镀金刚石刀具可以实现 SiC_p/Al 复合材料制孔加工,以磨削原理制孔的工艺在一定的条件下并可以获得良好的加工质量。通过试验分析可知,在本试验条件下:随着转速的提高(3 000 ~ 7 000 r/min),轴向力逐渐降低,制孔质量提高,转速达到 6 000 r/min 时可以获得良好的加工质量;随着进给速度的增加(2 ~ 10 mm/min),轴向力增大,制孔质量有下降趋势,当进给速度达到 8 mm/min 时孔出口有明显的崩边缺陷。因此,采用 $\Phi 4$ mm 电镀金刚石刀具在转速 6 000 r/min、进给速度为 5 mm/min 时,可以获得较好的制孔质量。

参考文献

- [1] 陈臣,王阳俊. 颗粒增强铝基复合材料小直径孔磨削加工实验研究[J]. 机械工程师,2010(8):33-34
- [2] 倪俊芳,韩荣第. 钻削 SiC_w/LD2、SiC_p/LD2 复合材料的刀具磨损和表面质量的试验研究[J]. 机械制造,2001(6):28-30
- [3] Tosun G, Mehtap Muratoglu. The drilling of SiC-Al metal-matrix composites. part1 microstructure [J]. Composites Science and Technology,2004(64):299-308
- [4] 鲍永杰,高航,董波,等. C/E 复合材料“以磨代钻”制孔工艺[J]. 宇航材料工艺,2010,40(4):47-49
- [5] Rajmohan T, Palanikumar K, Kathirvel M. Optimization of machining parameters in drilling hybrid aluminum metal matrix composites[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China,2012(6):86-97

(编辑 吴坚)

五 特种胶黏剂产品目录

1 KJ-2 飞机跑道快速修补胶

为室温快速固化飞机跑道修补胶,抗压强度 60 ~ 120 MPa,修补平整后即可使用。也可在水中固化,水中粘接。也可用于堵漏及速凝化学灌浆工程。

2 GJ-15 室温固化耐烧蚀阻燃腻子(胶)

室温粘 45#钢的剪切强度 15 MPa,300℃为 2 MPa,400℃老化 1 h 约 1 MPa。线烧蚀率为 0.127 mm/s,质量烧蚀率为 0.063 g/s。

3 GJ-1 无溶剂单组份胶

室温粘钢剪切强度 35 ~ 40 MPa,硬铝 24 ~ 28 MPa,粘钢 200℃为 3 MPa。

4 GJ-7 胶

单组份 7 号环氧胶,对钢的剪切强度 35 MPa,300℃约 1 MPa,室温存放 8 个月粘接强度不变。

5 GJ-36 胶、GJ-36R 胶、GJ-36A 胶、GJ-36H 胶

四种胶基本不燃、无烟。室温粘接 45#钢的剪切强度约 12 ~ 15 MPa,300℃为 5 ~ 8 MPa。可在 400 ~ 500℃短时工作。四种胶的固化工艺略有不同。

6 GJ-48A 高强度导热胶

室温对钢的剪切强度 40 MPa,250℃为 1 MPa。对碳纤维、芳纶也有较高的粘接强度。

7 GJ-81 耐高温阻燃导热胶

室温对钢的剪切强度为 30 MPa,300℃为 2 MPa。基本不燃、无烟,具有导热性能。

8 GJ-80 耐低温胶

粘钢的剪切强度室温为 35 MPa,200℃为 2 MPa,-196℃为 16 MPa;粘硬铝-196℃为 12 MPa

9 GJ-100 高强度高韧性耐高过载胶

粘钢室温剪切强度达 40 MPa 左右,250℃仍有 2 MPa。粘卫星点火器电子器件经 200 000g 过载仍完好,其中 g 为重力加速度。

10 B3-d 耐高温不燃胶

粘钢室温剪切 10 ~ 15 MPa,300 ~ 350℃约 5 MPa,400℃老化 1 h,室温仍为 5 MPa。

11 HH 环氧胶

粘钢室温剪切强度约 10 ~ 15 MPa,800℃老化 1 h,室温强度仍有 2 ~ 3 MPa。

12 GJ-200 胶

主要用于三元乙丙橡胶等的与钢的粘接,粘接强度可达 3 MPa 以上,大部分橡胶破坏。

陕西太航阻火聚合物有限公司

地址:西安市电子二路中段国晟大厦 4010 号

电话/传真:029-88758316

邮编:710065

网址:www.taihangchina.com

邮箱:shanxth@126.com