

SiCp/Al 窄槽的铣磨实验研究(II)

——表面粗糙度

李建广, 姚英学, 赵 航, 李大博

(哈尔滨工业大学 机电工程学院, 150001 哈尔滨)

摘 要: 针对 SiCp/Al 构件加工中大去除余量、高精度的需求, 以铣磨加工窄槽为对象, 实验研究电镀金刚石砂轮铣磨加工 SiCp/Al 窄槽中的加工参数、铣磨工具对已加工表面粗糙度的影响. 实验分析表明: 铣磨速度、进给速度、砂轮粒度和结构对 SiCp/Al 铣磨表面的粗糙度有显著影响, 砂轮速度对表面粗糙度的影响呈鞍型, 先降后增; 表面粗糙度随进给速度的增大而增大; 不开槽砂轮可获得低粗糙度的表面. 采用降低进给速度, 提高砂轮速度, 不开槽砂轮可获得低粗糙度的加工表面. 在实验条件下, 最佳铣磨参数组合是磨削速度 9.42 m/s, 进给速度 20 mm/min; 如采用开槽砂轮铣磨窄槽, 则铣磨工具的容屑槽螺旋角可选 50°.

关键词: 碳化硅颗粒增强铝基复合材料; 铣磨; 表面粗糙度; 加工参数; 铣磨工具

中图分类号: TG506.9

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2012)09-0057-05

Experimental research on mill-grinding SiCp/Al narrow slot Part II: surface roughness

LI Jian-guang, YAO Ying-xue, ZHAO Hang, LI Da-bo

(School of Mechatronics Engineering, Harbin Institute of Technology, 150001 Harbin, China)

Abstract: To meet the need on machining SiCp/Al surface with high efficiency and accuracy, with electroplated diamond grinding wheel and taking mill-grinding narrow slot as a typical example, the influence of machining parameters and mill-grinding tool on SiCp/Al machined surface roughness was experimentally investigated. The results show that the machining parameters and mill-grinding tool both have significant influence on the surface roughness. The influence of grinding speed on roughness appears saddle-shaped, i. e. decreased first, then increase while the roughness is increased as federate increasing. The grinding wheel without flutes can produce lower roughness than that with flutes. Therefore, higher grinding speed, lower federate with fluteless grinding wheel are recommended. Under the given experimental conditions, the optimum combination of machining parameters are grinding speed of 9.42 m/s and federate of 20 mm/min. And if a fluted grinding wheel will be applied to machine narrow slot, the recommended helix angle of the flutes is about 50° to achieve lower roughness.

Key words: SiCp/Al; mill-grinding; surface roughness; machining parameters; mill-grinding tool

碳化硅颗粒增强铝基复合材料(SiC particle reinforced aluminum matrix composite, SiCp/Al)以其优异的物理性能和机械性能,在航空航天、光学

仪器、汽车、武器等领域具有广阔的应用前景^[1-2]. 但由于 SiCp/Al 中增强相 SiCp 的硬度高、脆性大,加工表面质量不易保证. 表面质量影响着已加工表面的耐磨性、抗腐蚀性、抗疲劳破坏性, SiCp/Al 属于难加工材料,加工表面存在各种因加工而引起的缺陷,难以获得高质量的加工表面^[3],以 SiCp/Al 为代表的颗粒增强复合材料的加工工艺和提高表面质量的研究受到国内外关注^[4-5].

收稿日期: 2011-08-10.

基金项目: 教育部博士点基金资助项目(200802130006); 2010 哈尔滨市科技创新人才研究专项资助项目(RC2010XK006003).

作者简介: 李建广(1970—),男,博士,教授;

姚英学(1962—),男,教授,博士生导师.

通信作者: 李建广, mejgli@hit.edu.cn.

磨削是工件高质量加工的主要手段. 磨削 SiCp/Al 的实验表明: 由于软的基体金属堵塞砂轮, 导致砂轮加工能力降低或失效; 与超硬磨料相比, 普通磨料的砂轮堵塞较轻, 磨削力小, 表面粗糙度值小^[6], 磨削表面的粗糙度与材料的硬度呈线性关系^[7]. 文献[8]磨削 Al_2O_3 颗粒增强复合材料的实验表明: 粗粒度 SiC 砂轮用于粗磨时, 表面粗糙度值可达到 $0.15 \sim 0.70 \mu\text{m}$; 细粒度的树脂结合剂金刚石砂轮在磨削深度为 $1 \mu\text{m}$ 时无涂敷现象, 表面粗糙度在 $0.20 \sim 0.35 \mu\text{m}$, 表面及亚表面无裂纹和缺陷产生. 文献[9]进一步探讨了烧伤机理, 为提高表面质量提供了支持. 在磨床上磨削加工颗粒增强铝基复合材料可获得比较高的表面质量, 但以往研究集中在磨削性能及加工表面的质量分析上, 未见有关材料去除效率和曲面加工等方面的研究报道.

本研究以 SiCp/Al 窄槽的高效、高精度加工需求为背景, 研究大去除余量下电镀金刚石砂轮在铣床上加工(本文称为铣磨) SiCp/Al 窄槽对表面粗糙度的影响规律, 为优选加工参数和优选铣磨工具提供借鉴.

1 实验条件

本文主要研究加工参数和开槽砂轮对表面粗糙度的影响规律, 单因素实验研究铣磨速度、进给速度、铣磨工具螺旋角等对表面粗糙度的影响, 实验条件和铣磨工具同文献[10], 实验所用的铣磨工具均为不同形状直径 10 mm 的电镀金刚石砂轮.

实验中, 表面粗糙度用北京时代集团公司研制的 TR200 手持式粗糙度仪测量. 该粗糙度仪最小测量值为 $Ra = 0.025 \mu\text{m}$, 分辨力为 $0.01 \mu\text{m}$, 测量误差 $\leq 10\%$, 可满足实验的测量需求. 选择已加工的窄槽侧壁为测量表面, 沿砂轮进给方向测量 4 个点的平均值作为测量实验结果.

2 铣磨加工表面形貌分析

SiCp/Al 复合材料由铝合金基体和 SiC 增强颗粒组成, 增强颗粒 SiC 和铝基体的物理性能差别很大. 铝基体较软, 加工时易发生塑性变形; 而 SiCp 增强颗粒硬度高、脆性大, 加工中易破碎和脱落, 并且脱落的 SiCp 有可能成为磨料. 铣磨加工 SiCp/Al 实验中形成的表面形貌如图 1 所示.

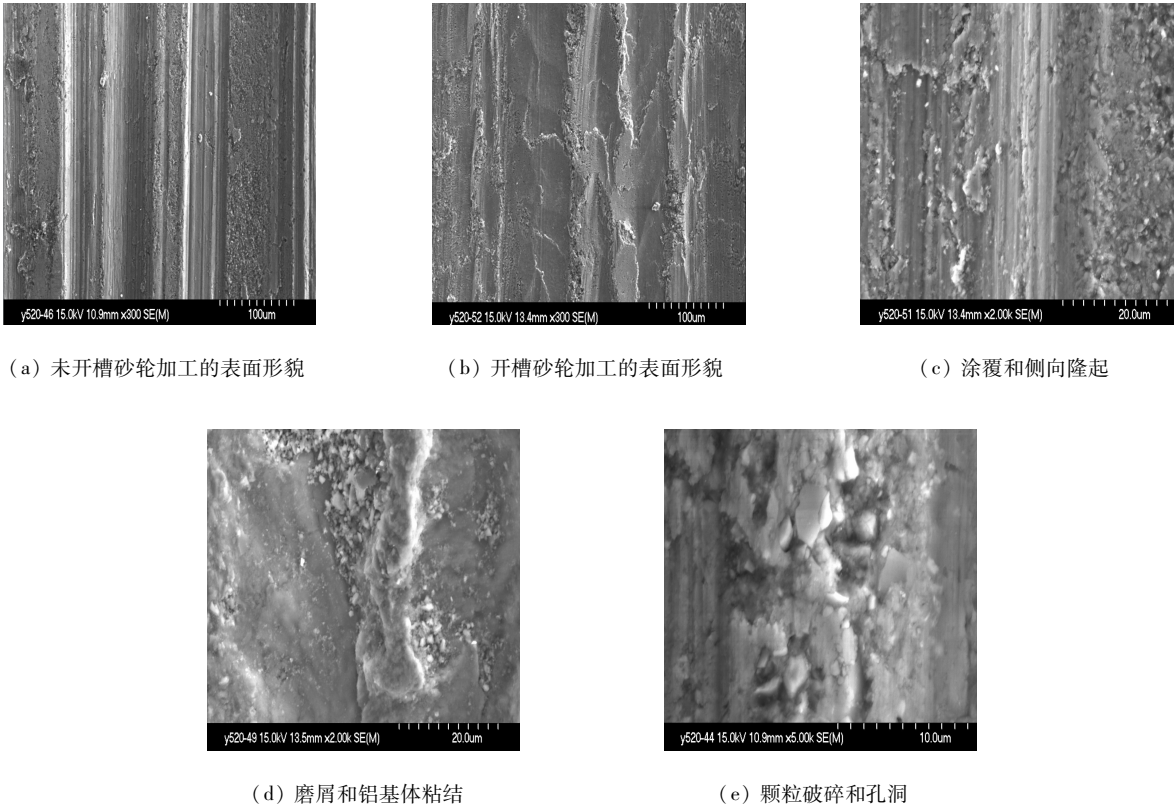


图 1 SiCp/Al 铣磨加工的表面形貌和缺陷

图 2 为铣磨加工 SiCp/Al 复合材料得到的型腔. 从图中可以看出, 铣磨加工得到的型腔结构完

整, 切入切出口处没有崩边现象, 铣磨工具端面可得到较侧面更低的表面粗糙度值.

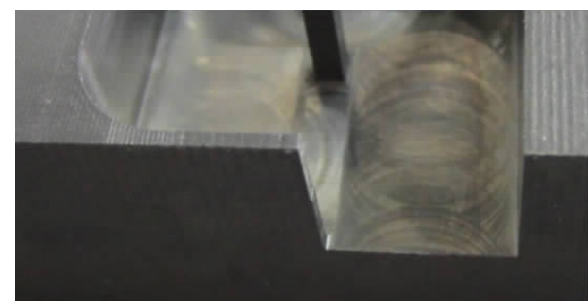


图 2 铣磨加工实物图

3 表面粗糙度影响因素的实验

3.1 铣磨参数对表面粗糙度的影响

在本研究中,铣磨参数主要涉及铣磨速度(即铣磨工具的线速度)和进给速度,采用单因素实验研究铣磨参数对表面粗糙度的影响.实验所用的铣磨工具为未开槽的电镀金刚石砂轮(文献[10]中表 1 的 1 号铣磨工具).实验中的铣磨参数如表 1 所示.

表 1 表面粗糙度单因素实验参数

磨削速度/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	进给速度/ ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$)	铣磨宽度/ mm
6.28	20	6
7.33	30	6
8.37	40	6
9.42	50	6
10.47	60	6

注:背吃刀量为铣磨工具直径(10 mm).

3.1.1 铣磨速度对表面粗糙度的影响

固定进给速度,改变铣磨速度铣磨加工 SiCp/Al 窄槽,并测量窄槽侧壁的表面粗糙度.表面粗糙度随铣磨速度的变化如图 3 所示.

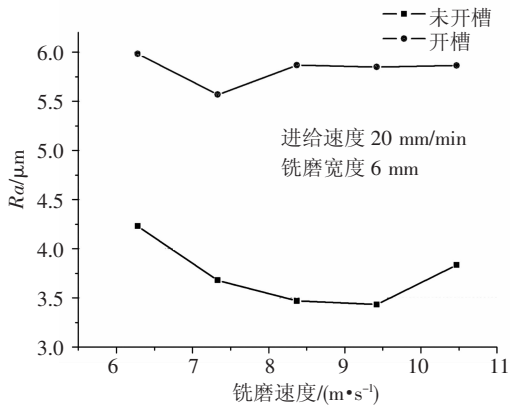


图 3 表面粗糙度随砂轮线速度的变化对比

由图 3 可知,表面粗糙度值随铣磨线速度的变化呈马鞍形,先呈下降趋势,后又增大.铣磨速度的增大使铣磨工具每转的去除量减小;单位时间有效磨粒数增加,使得沟痕的最大深度减小.随着铣磨速度的增大磨削区域温度升高,铝基体软

化并涂覆在已加工表面上使得粗糙度值有所下降.

随着铣磨速度的进一步增大,如 10.47 m/s 时,机床振动和铣磨工具的振动加剧,表面粗糙度值变大.

3.1.2 进给速度对表面粗糙度的影响

固定铣磨速度,改变进给速度进行窄槽铣磨实验,进给速度对表面粗糙度的影响如图 4 所示.

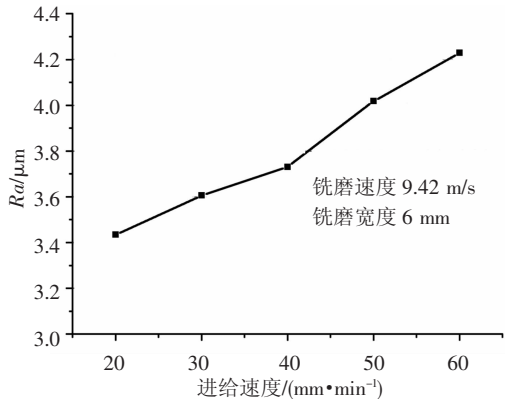


图 4 表面粗糙度随进给速度的变化

由图 4 可知:已加工表面粗糙度值随进给速度近似呈线性变化.增大的进给速度使未变形切削厚度增大,单个磨粒单位时间去除的体积也增大,铣磨力增大,磨粒在工件上刻划的沟痕深度及两侧隆起增大,导致表面粗糙度值变大.而且当进给速度增大时,SiC 颗粒更易发生破碎脱落,也增大了表面粗糙度值.

3.2 铣磨工具对表面粗糙度的影响

3.2.1 磨粒粒度对表面粗糙度的影响

固定进给速度,改变砂轮线速度进行铣磨实验,所用的铣磨工具为未开槽的电镀金刚石砂轮,磨粒粒度分别为 80#和 120#(文献[10]中表 1 的 1 号和 4 号铣磨工具).磨粒粒度对表面粗糙度的影响对比如图 5 所示,对应的加工表面形貌见图 6.

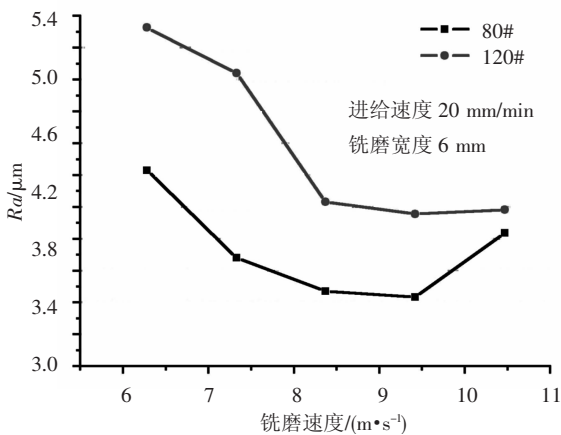


图 5 磨粒粒度对表面粗糙度的影响

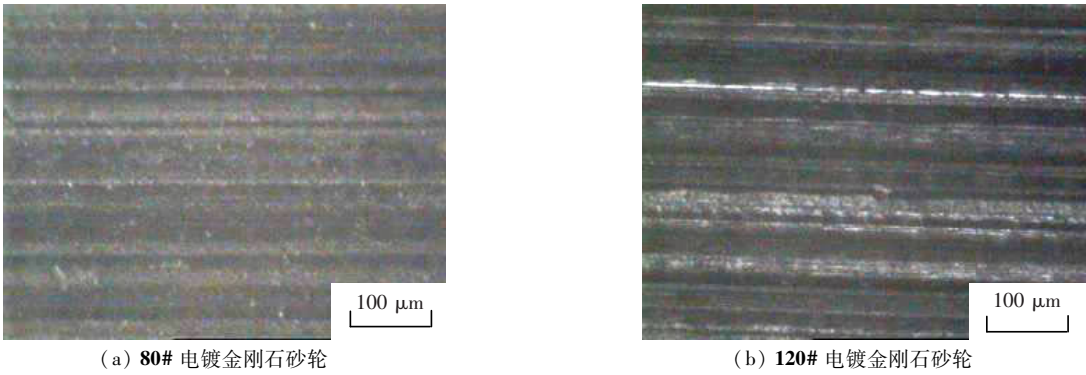


图 6 已加工表面形貌

由图 5 得到:在一定范围内,大粒度(80#)的铣磨工具的加工表面粗糙度值小于小粒度(120#)的铣磨工具.图 6 中,120#磨粒的铣磨工具加工得到的表面沟痕较 80#磨粒的不平整,滑擦痕迹明显.铣磨加工窄槽时去除的材料量大,且形成封闭的空间,铣磨工具易发生堵塞.小磨粒粒度的铣磨工具的容屑空间小,磨屑不易被排出而造成砂轮堵塞,而且未排出

的 SiC 颗粒进一步擦划,使得表面不平整.

3.2.2 砂轮结构对表面粗糙度的影响

固定进给速度,改变铣磨速度,分别用未开槽和开槽的电镀金刚石(文献[10]中表 1 的 1 号和 3 号铣磨工具)进行窄槽铣磨实验,铣磨工具结构对表面粗糙度的影响如图 3 所示,对应的加工表面形貌见图 7.

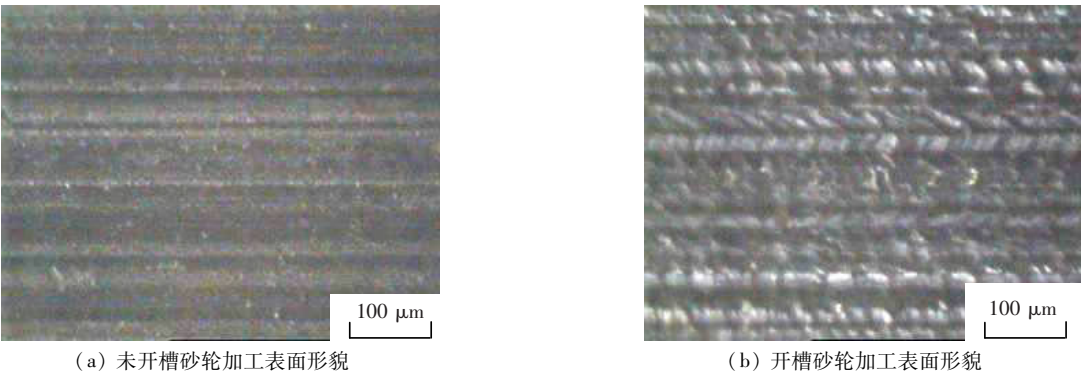


图 7 不同结构铣磨工具的加工表面形貌

由图 7 可知:开槽铣磨工具的加工表面粗糙度值大于未开槽铣磨工具的加工表面粗糙度值.开槽铣磨工具在铣磨加工时铣磨力波动较大,导致一定程度的振动,加大了表面粗糙度值.图 7 (b)的表面形貌明显地显示了表面振动波纹.

3.2.3 容屑槽螺旋角对表面粗糙度的影响

固定进给速度,改变铣磨速度进行窄槽铣磨实验,采用铣磨工具的螺旋角分别为 40°和 50°(文献[10]中表 1 的 2 号和 3 号铣磨工具),螺旋角对加工表面粗糙度的影响如图 8 所示.

由图 8 可知:大容屑槽螺旋角的铣磨工具加工得到的表面粗糙度值小于小容屑槽螺旋角铣磨工具的加工表面粗糙度值,铣磨速度对表面粗糙度影响不大.现象分析可详细参考文献[11].从铣磨工具的结构分析看,大螺旋角的螺旋槽在铣磨工具表面上的攀升较为平缓,进入磨削区域时槽口处的铣磨宽度变化缓慢,产生的铣磨力变化

小,冲击和振动也随之减轻.

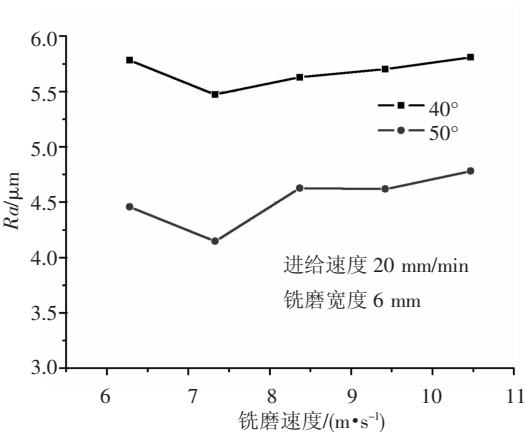


图 8 螺旋角对表面粗糙度的影响

4 结 论

1) 实验研究了铣磨参数和铣磨工具对铣磨加工 SiCp/Al 窄槽时表面粗糙度的影响规律.基

于此规律,从减小表面粗糙度值的角度出发,对铣磨参数和所用铣磨工具进行优选.

2) 利用未开槽电镀金刚石砂轮铣磨加工 SiCp/Al 复合材料窄槽时,分别对铣磨速度和进给速度进行单因素实验,发现在实验参数范围内,表面粗糙度值随着铣磨速度的变化呈马鞍形,先降低后增大,存在一个临界速度;表面粗糙度随着进给速度的增大而增大. 在实验参数范围内(铣磨宽度 6 mm)最佳铣磨加工参数组合是:磨削速度 9.42 m/s;进给速度 20 mm/min.

3) 分别使用未开槽电镀金刚石砂轮和螺旋槽电镀金刚石砂轮进行铣磨加工窄槽实验,并对测得的表面粗糙度值进行整理分析,发现在磨粒粒度相同的情况下,未开槽砂轮比螺旋槽砂轮加工得到的表面粗糙度小,大螺旋角的螺旋槽砂轮加工得到的表面质量要好于小螺旋角的螺旋槽砂轮,即螺旋角为 50° 的螺旋槽砂轮加工得到的表面粗糙度比 40° 的要小.

参考文献:

- [1] KUNZ J M, BAMPTON C C. Challenges to developing and producing MMCs for space applications [J]. *Journal of Materials*, 2001, 53(4): 22–25.
- [2] 崔岩. 碳化硅颗粒增强铝基复合材料的航空航天应用[J]. *材料工程*, 2002(6): 3–4.
- [3] DABADE U A, JOSHI S S, BALASUBRAMANIAM R, *et al.* Surface finish and integrity of machined surface on SiCp/Al composites [J]. *Journal of Material Processing Technology*, 2007, 192/193: 166–174.
- [4] KILICKAP E, AKIR O C, AKSOY M, *et al.* Study of tool wear and surface roughness in machining of homogenised SiC-p reinforced aluminum metal matrix composite [J]. *Journal of Material Processing Technology*, 2005, 164/165: 862–867.
- [5] OZBEN T, KILICKAP E, CAKIR O. Investigation of mechanical and machinability properties of SiC particle reinforced Al-MMC [J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2008, 198(1/2/3): 220–225.
- [6] ANTONIOMARIA D, ALFONSO P. Comparison between conventional abrasives and superabrasives in grinding of SiC-aluminium composites [J]. *International Journal of Machine Tools and Manufacturing*, 2000, 40(2): 173–184.
- [7] ANTONIOMARIA D I, PAOLETTI A, TAGLIAFERRI V, *et al.* Experimental study on grinding of silicon carbide reinforced aluminum alloys [J]. *International Journal of Machine Tools and Manufacturing*, 1996, 36(6): 673–685.
- [8] ZHONG Zhaowei, HUNG N P. Grinding of alumina/aluminum composites [J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2002, 123(1): 13–17.
- [9] SUN F H, LI X K, WANG Y, *et al.* Studies on the grinding characteristics of SiC particle reinforced aluminum-based MMCs [J]. *Key Engineering Materials*, 2006, 304/305: 261–265.
- [10] 李建广,姚英学,赵航,等. SiCp/Al窄槽的铣磨实验研究——磨削力[J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2012, 44(7): 43–46.
- [11] 宋振武,高航. 螺旋槽砂轮磨削性能的试验研究[J]. *磨料磨具与磨削*, 1985(6): 1–4.

(编辑 杨波)