复合材料湿法加工工艺

张　鹏　　王保林　　孙艳杰　　王爱春　　黄凤春

（航天材料及工艺研究所，北京　100076）

文　摘　针对碳纤维增强复合材料干法加工的固有缺点，提出了一种采用水溶性冷却液加工碳纤维增强复合材料的加工工艺，并对干法和湿法加工进行了对比分析。结果表明：湿法加工不影响碳纤维增强复合材料的力学性能，且能够提高加工表面质量及效率，减少刀具磨损，是碳纤维复合材料加工较好的工艺。

关键词　复合材料，湿法加工，水溶性冷却液，加工效率

Wet Processing of Composite Material Technology

Zhang Peng　　Wang Baolin　　Sun Yanjie　　Wang Aichun　　Huang Fengchun

（Areospace Research Institute of Materials & Processing TechnologyBeijing　100076）

Abstract　In order to solve the inherent defect of dry grinding in CFRP, a new adding liquid coolant in processing CFRP was proposed. Dry grinding and liquid coolant grinding has been studied by means of experiment. The results show that processing method of adding water solubility cooling fluid has no-effect on mechanical property of CFRP, this method can not only improve machining efficiency but also reduce cut-tool wear, and is more suitable for processing CFRP.

Key words　Composite, Wet process, Water miscible coolant, Working effciency

0　引言

碳纤维增强复合材料具有层间抗剪强度低、硬度高、导热性差、各向异性等特点，在切削加工过程中易产生基体开裂、脱胶、分层、纤维断裂等破坏形式，属于难加工材料[1]。

目前，碳纤维增强复合材料加工方法以干法加工为主[2]。刀具大多采用电镀金刚砂磨头，每一个金刚砂颗粒都作为一个切削刃，磨粒切削刃和纤维之间产生摩擦、挤压作用，并且克服碳纤维和基体的弹性变形的阻力而形成切屑。通过金刚砂颗粒对碳纤维增强复合材料进行磨削。该加工方法有许多不足，碳纤维增强复合材料热导率低，切削时切削热不易传递出去[3-4]，在加工区域聚集大量的切削热，如连续加工容易使碳纤维增强复合材料局部达到较高温度，从而影响材料的性能。对于刀具来讲，干法加工排屑困难，切屑不仅会产生二次切削，还会降低刀具的使用寿命，在碳纤维增强复合材料加工中切屑堵塞刀具的现象常有发生。因此，需要一种湿法加工工艺解决上述问题。

湿法加工工艺需要一种对复合材料无害的冷却液。油基类冷却液会与碳纤维增强复合材料中的树脂基体粘合产生负面影响。油基类冷却液还可能沿暴露的纤维浸润渗透并且它们不会像水一样蒸发。碳纤维不吸湿，但其基体吸湿，故基体与纤维之间必然存在湿膨胀的差别[5]。这种差别会形成碳纤维增强复合材料的内应力，如果应力超过一定程度势必导致复合材料层间的脱粘与分层。因此加工碳纤维增强复合材料要求冷却液除具有较大的热容比外还需有良好的挥发性，选择一种易挥发有强冷却作用的水溶性切削液至关重要。湿法加工原理图见图1。

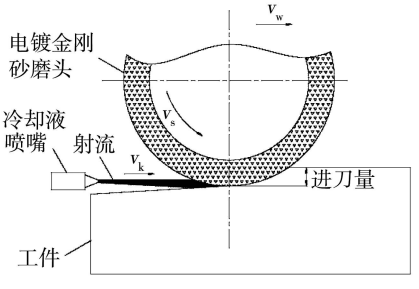


图1　冷却液加工原理图

Fig. 1　Skeleton drawing of cold-working

采用一个喷嘴使冷却润液以一个尽可能连续平滑的射流切向地并在磨头回转方向上与磨头表面接触。本文采用干法和湿法加工碳纤维增强复合材料

收稿日期：2012-06-18

作者简介：张鹏，1984年出生，硕士，主要从事复合材料装配工艺的研究。E-mail：zhangpeng@emails.bjut.edu.cn

试样并对加工质量进行分析。

1 实验

1.1 材料

国产 MT300 碳纤维增强 603 环氧树脂复合材料层压板,厚度 5 mm,航天材料及工艺研究所生产。加工前对碳板进行无损探伤未发现缺陷。

1.2 设备及仪器

加工设备为一台哈斯机床厂 VF6 数控立式加工中心,最大主轴转速为 8 100 r/min。实验刀具选用直径为 Φ120 mm 电镀金刚砂磨头。

力学性能测试设备为电子万能试验机,测试标准为 DqES281—97 及 DqES279—97。微观分析采用扫描电镜,切削区温度用激光测温仪测量。

1.3 试样制备

采用干法磨削和湿法磨削两种加工方式,利用数控加工中心将层压板磨削至纵向压缩强度试样(DqES281—97)、纵向压缩模量试样(DqES281—97)和剪切强度试样(DqES279—97)。

2 结果与分析

2.1 切削温度对比

两种加工方法在同样的工艺参数得出切削温度曲线如图 2 所示。

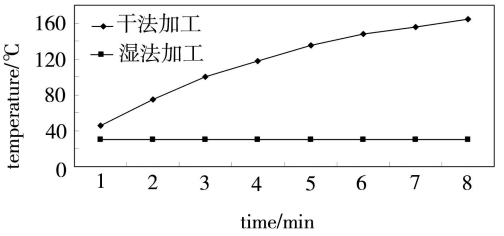


图 2 切削温度曲线图

Fig. 2 Cutting temperature curve

由图 2 可知,干法加工切削温度随时间增加而迅速上升,在连续加工 8 min 后,加工区温度超过材料使用温度,需暂停加工。在实验中还发现切削温度与加工工艺参数有关,其中磨头转速对温度影响最大,在其他参数不变的情况下温度与磨头转速 v_s 成正比,磨头转速越高,切削温度上升越快。湿法加工时,冷却液保证了较低的过程能量并且传导处流入工件的热量,使加工温度始终保持在 30℃左右,磨削可连续进行,在加工过程中可不考虑温度对材料性能的影响。

2.2 切屑及刀具磨损情况对比

切屑堵塞的类型有嵌入型、依附型、粘接型、混合型。碳纤维增强复合材料磨削中,磨屑堵塞以嵌入型和依附型为主。这两种堵塞属于磨屑机械性地填充在砂轮空隙中产生的堵塞现象。磨屑在强大的正向压力作用下,被机械地挤压进磨头表面的空隙中。磨屑堵塞与磨削参数、热量、径向磨削分力 F_y 与切向分力 F_z 的比值有关。磨削中 $F_y/F_z=2\sim10$,工件材料愈硬,塑性愈小,比值愈大,而复合材料正是这种高硬度工件,因此在复合材料磨削过程中,磨屑堵塞的现象时常发生。

干法磨削过程中,磨头的后面,由于砂轮的旋转,形成一个气流漩涡区,漩涡区的压力随砂轮转速 v_s 的增加迅速减小,在负压的作用下,使磨屑依附在磨头上,形成依附性堵塞。因此在干法磨削中,磨头转速 v_s 不能过高。碳纤维的切屑以粉尘为主,对操作者和机床都有损害,因此干法加工还需有额外的除尘设备。

湿法加工过程中,当冷却液的压力和射流速率 v_k 与磨头转速 v_s 达到一个合理配比时,冷却液呈薄层状附着在磨头表面上,参与磨削过程,在磨屑进入磨头缝隙之前,首先进入附着在磨头上的冷却液中,并随冷却液一起通过一定的角度,被离心力甩出。当该角度等于磨头与工件接触区对应的角度时则能达到最佳的冷却效果和排屑作用[6]。

在使用同样的电镀金刚砂磨头采用两种不同的加工方法加工 100 件试样后照片见图 3。



(a) 干法加工 100 件后磨头照片 (b) 湿法加工 100 件后磨头照片

图 3 加工完成后刀具照片

Fig. 3 Photo of grinding unit after processing

2.3 加工效率对比

干法加工及湿法加工工艺参数见表 1。干法磨削排屑困难,加工区温度上升速率均随磨头转速增加急剧上升,从而限制了磨头的最高转速。磨头转速的

快慢将直接影响进刀速率,从而影响加工效率。从表1可以看出,在干法磨削过程中,主轴转速只有湿法磨削的1/2。进给速率真只有湿法加工的1/3左右。湿法加工的加工效率是干法加工的3倍左右。

表1 加工工艺参数

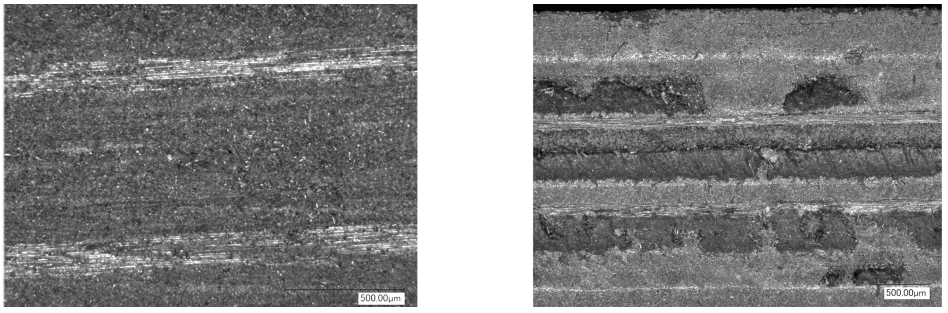
Tab.1 Processing parameter

加工方法	切削深度/mm	主轴转速/r·min^{-1}	进刀速率/mm·min^{-1}	进刀量/mm
干法加工	5	3800	15~20	2~3
湿法加工	5	7000	50~60	2~3

2.4 试样力学性能及表面质量对比

试样加工后照片见图4。加工后经无损检测,均无缺陷产生。在加工表面质量上,湿法加工的表面质量要明显好于干法加工。从图3中可以看出,干法加工表面有凹凸不平的现象,这是由于干法加工比湿法加工切削力大且不均匀造成的。

抽取10件试样做力学性能试验,结果见表2,可以看出,试样的纵向压缩强度、压缩模量及层间剪切强度均值相差不大。均反映了MT300/603自身的力学性能。湿法加工时水溶性冷却液未对材料本身产生负面影响。干式加工工艺不稳定,在试样加工过程中有加工劈裂报废现象。这是由干法磨削切削力不稳定造成的。实验中100件试样干法加工过程有12件废品,湿法加工无废品产生。



(a) 湿法加工表面 (b) 干法加工表面

图4 试样表面照片

Fig.4 Surface photo of proof sample

表2 干法加工与湿法加工力学性能对比

Tab.2 Mechanical property comparison of dry grinding and adding liquid coolant grinding

试样	纵向压缩强度/MPa		纵向压缩模量/GPa		剪切强度/MPa	
	干法	湿法	干法	湿法	干法	湿法
1#	624	614	74.4	81.7	81.7	84.7
2#	653	693	78.5	78.2	77.6	83.8
3#	603	634	78.3	83.8	-	88.2
4#	677	702	72.4	73.1	86.3	91.8
5#	573	585	74.1	79.9	80.1	83
6#	-	661	76.3	73.1	86.8	87.5
7#	601	553	77.9	78.1	77.1	77.1
8#	602	603	-	78.8	77.4	82.9
9#	568	613	81.9	73.4	86.8	85.9
10#	596	609	72.3	74.1	53.1	79.3
$\bar{X}$	611	627	76.2	77.4	78.5	84.2

3 结论

(1)采用湿法加工碳纤维增强复合材料,加工区温度恒定,能够进行连续加工。

(2)湿法加工主轴转速可提升至7 000 r/min左右,加工效率是干法加工的3倍左右。

(3)湿法加工易于排屑,无需额外的除尘设备,刀具磨损程度小于干法加工,有效的避免了砂轮堵塞的现象。

(4)水溶性冷却液不会降低复合材料的力学性能,湿法加工稳定性和表面质量优于干法加工。

参考文献

[1] 鲍永杰,高航,马海龙,等.磨削热对碳纤维复合材料表面质量影响研究[J].大连理工大学学报,2011,(11):809-812

[2] 于晓江,曹增强.碳纤维复合材料与钛合金结构制孔工艺研究[J].航空制造技术,2011(3):95-97

[3] 徐宏钧,傅玉灿.高效磨削时弧区热作用机理与强化弧区换热的基础研究[J].中国科学,2002(3):296-306

[4] Dai Guohong, Zhang Youliang, Wang Huifen. Research on architecture of product digital pre-assem-bly system[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2004,(7):39-41

[5] Wern C W, Ramulu M, Shukla A. Investig-ation of stressesin the orthogonal cutting of FRP[J]. Exp-Eriment Mechanics, 1996, 36(1):36-40

[6] Ferreira J R, Coppini N L, Neto F L. Characteristics of carbon-carbon composite turning[J]. Journal of Materials Processing Technology. 2001, 109: 65-69

(编辑 李洪泉)