

碳/环氧复合材料钻削力影响因素的研究

赵建设¹ 李仲平¹ 樊锐²

(1 航天材料及工艺研究所先进功能复合材料技术国防科技重点实验室,北京 100076)

(2 北京航空航天大学,北京 100083)

摘 要 针对碳/环氧复合材料进行了钻孔技术、尤其是高速钻孔技术的研究,紧密结合工程应用的现状,对钻削力及其影响因素进行了较为全面和系统的研究。结果表明:进给量是影响钻削力的主导因素,进给量越大,钻削力越大;进给量越小,钻削力越小。转速、钻尖直径及材料厚度对钻削力也有一定影响,但控制进给量是控制钻削力的最有效措施。

关键词 碳/环氧复合材料,高速钻孔,钻削力

Study of Drilling Force for Carbon-epoxy Composite

Zhao Jianshe¹ Li Zhongping¹ Fan Rui²

(1 National Key Laboratory of Advanced Functional Composite Materials, Aerospace Research Institute of Materials and Processing Technology, Beijing 100076)

(2 Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083)

Abstract The thesis presents an intensive study on drilling of carbon-epoxy composites with an emphasis on high speed drilling. Drilling force and their influencing factor based on engineering application are studied systematically. Experimental results show that feedrate is the predominant factor influencing drilling force which increases with feedrate. Other factors, including rotation rate, plate thickness and drilling-bit diameter influence drilling force less. Therefore, it is an effective means for drilling force to control feedrate.

Key words Carbon-epoxy composite, High speed drilling, Drilling force

1 引言

钻削在复合材料加工中应用较多,属于最难的加工工序。由于钻削是一种半封闭的切削形式,故钻削力比车削力复杂。钻削力对钻孔质量影响极大,是造成孔壁分层、孔出入口撕裂的主要原因,因此采取有效措施减小钻削力是提高钻孔质量的重要途径之一。有关在通常钻削速度下碳/环氧复合材料钻削力的研究已有许多报道,其中比较有代表性的是北京航空航天大学的工作^[1~4]。他们经过多年研究,总结出了钻削参数和钻头几何参数对钻削力的影响曲线,并建立了具有很高使用价值的单因素经验公式。而对于碳/环氧复合材料高速钻削技术

的应用尚未见到系统的报道。美国洛克希德公司曾在高速钻削碳/环氧复合材料方面作了一些有益的尝试^[5],其最高转速达到 20 000 r/min,而我国在这方面的的工作做得较少。本文将利用高速钻削试验台对碳/环氧复合材料高速钻削技术进行较为系统地研究。

2 实验

对碳/环氧复合材料进行各种钻削实验,转速 200 r/min ~ 24 000 r/min,范围非常宽,目前的试验台不能满足要求,因此,将实验分成两部分,其中高速部分在卧式高速钻削试验台上进行,低速部分在普通立钻上进行。实验中需要考虑的因素有转速、

收稿日期:2003-10-24

赵建设,1968年出生,硕士,主要从事复合材料加工工艺的研究工作
宇航材料工艺 2004年 第5期

— 35 —

进给量、钻头直径和材料厚度等。实验中所用的碳/环氧复合材料为多向层合板,碳纤维牌号为 T300B,基体材料为 AG-80 环氧树脂,实验用板材厚度分

别为 2 mm、10 mm 和 15 mm。根据试验台的特性和现有材料的情况,对各因素的各个水平进行了适当的筛选,试验所选钻削参数见表 1。

表 1 钻削参数

Tab.1 Drilling parameters

项 目	转速/ $r \cdot \min^{-1}$	进给量/ $mm \cdot r^{-1}$	钻头直径/mm	材料厚度/mm
高速部分	3 600, 5 700, 9 300, 15 000, 24 000	0.002, 0.004, 0.006, 0.012, 0.02	5.0, 5.5, 6.0	2.0, 10.0, 15.0
低速部分	200, 500, 1 250	0.056, 0.112, 0.224	5.0, 5.5, 6.0	2.0, 10.0, 15.0

3 结果及讨论

在一个孔的钻削过程中,钻削力变化存在着如图 1 所示的规律性。钻头开始钻入后,轴向力和扭矩均由零逐渐增大,当钻头主切削刃全部参加切削时,轴向力和扭矩达到最大值,在钻头未钻出前一直保持这一稳定状态。钻头钻出过程开始后,底层材料对钻头的支撑刚性减小,因而产生让刀现象,轴向力迅速减小,扭矩也相应减小,直到钻头完全钻出,轴向力变成零,但仍有扭矩存在,扭矩的下降速度比轴向力滞后。实验观察发现,这一规律在各种切削速度和进给速度下都是一样的。由于轴向力是引起孔壁分层、孔出入口分层和撕裂的主要原因,故重点讨论各种因素对钻削轴向力(图 1 中所示稳定状态下钻削力的平均值)的影响。

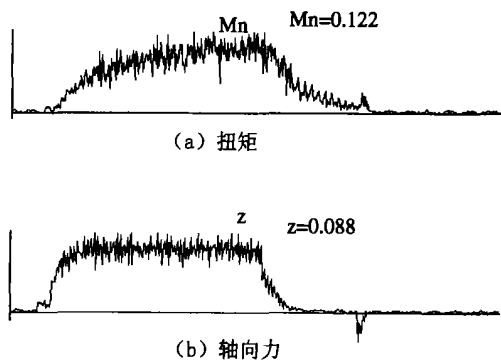


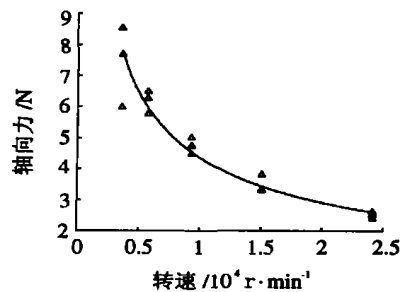
图 1 钻孔过程中切削力记录曲线

Fig.1 Curves of drilling force during drilling

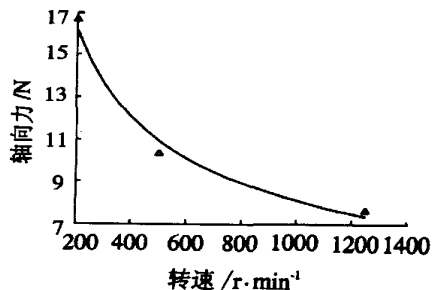
3.1 转速的影响

图 2 是 5.5 mm 硬质合金(牌号 YG6X,下同)

四平面修磨横刃钻头钻削 10 mm 厚多向碳/环氧复合材料时转速 n 与轴向力 F_z 之间的关系曲线。从图 2 中可以看出,不管是在高速区(3 600 r/min 以上)还是低速区(1 250 r/min 以下),轴向力都随转速的增大而减小,主要是转速 n 变化导致切削深度变化造成的。如图 3 所示,钻头单个切削刃纵向切削深度(a_f)为进给量(f)的一半,即: $a_f = \frac{1}{2}f$ 。纵向切削深度越深,轴向力越大。随着转速的提高,在进给量不变的情况下,钻头切削刃的切削深度随之减小,因此会有轴向力随着转速的提高而减小的现象。



(a) 高速



(b) 低速

图 2 转速对轴向力的影响

Fig.2 Effects of rotary speed on axial drilling forces

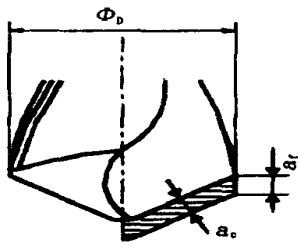
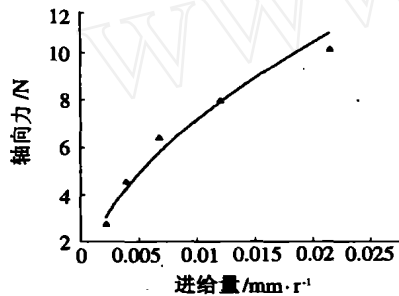


图3 钻头单刃纵向切削深度

Fig. 3 Longitudinal depth of drilling

对高速区实验数据用线性回归法总结出以下单



(a) 高速

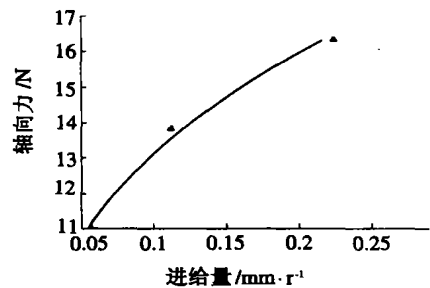
因素经验公式:

$$F = 6499.46 n^{-0.509} - 2.832$$

式中, n 为转速。

3.2 进给量的影响

图4是5.5 mm硬质合金四平面修磨横刃钻头钻削10 mm厚多向碳/环氧树脂材料时进给量与轴向力关系曲线。由图4可以看出:在转速不变的情况下,随着进给量的增加,轴向力逐渐增大,成一轻微上凸曲线。低速区域和高速区域的规律相似。



(b) 低速

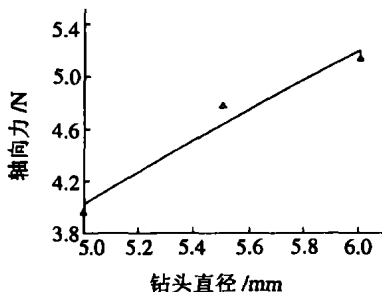
图4 进给量对轴向力的影响

Fig. 4 Effect of feedrate on drilling force

由理论分析可知,进给量对钻削力的影响主要来自切削深度的变化,在转速不变的情况下,进给量越大,纵向切削深度越深,因而钻削力越大。试验与理论分析比较相符。

对高速区实验数据用线性回归法总结出以下单因素经验公式:

$$F = 1354.95 f^{0.613} - 2.832$$

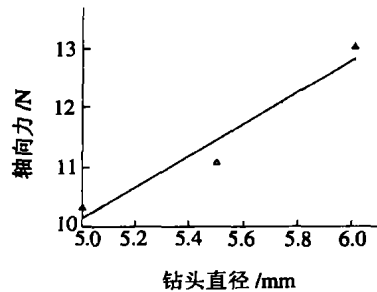


(a) 高速

式中, f 为进给量。

3.3 钻头直径的影响

分别用5.0 mm、5.5 mm、6.0 mm硬质合金四平面修磨横刃钻头钻削10 mm厚碳/环氧树脂材料,在转速和进给量不变的条件下分别测得每种直径钻头钻削时的轴向力,对数据进行分析处理后得到的相应关系曲线,见图5。



(b) 低速

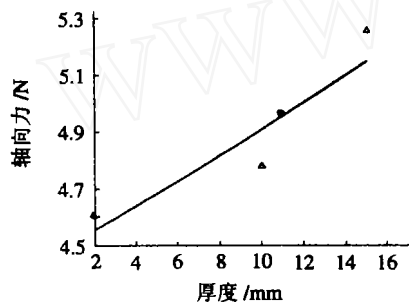
图5 钻头直径对轴向力的影响

Fig. 5 Effect of drilling diameter on drilling force

从图 5 看出:钻头直径越大,轴向力越大。这是因为随着钻头直径的增大,钻头切削刃切削面积增大,而切削面积是决定切削力大小最主要因素之一,切削面积增大会导致切削力增大,即随着钻头直径增大,轴向力也随着增大。

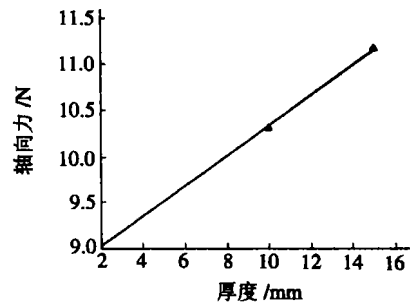
3.4 材料厚度的影响

图 6 是用 5.5 mm 硬质合金四平面修磨横刃钻头钻削 2 mm、10 mm 和 15 mm 厚碳/环氧复合材料时,材料厚度对轴向力的影响曲线。从图 6 可以看出:在转速和进给量不变的条件下随着材料厚度增加,轴向力增加。



(a) 高速

如果单纯从切削力的角度来看,材料的厚度应该对切削力没有什么影响,但是在试验过程中发现,轴向力随着材料厚度的增加而增加。分析主要有以下几方面原因:(1)由于钻孔是在相对封闭的空间内进行的,切屑排出困难,而且难度随着钻孔深度的增加而增大,大量的切屑堵塞在孔的深处,大大增加了与钻头之间的摩擦力,从而使轴向力增大,刀具磨损加剧;(2)由于碳/环氧复合材料硬度高,钻孔深度越大,刀具磨损越严重,刀具磨损后必然会引起轴向力的增加。因此我们在钻制深孔时设法排除切屑,对保证钻孔质量是十分重要的。



(b) 低速

图 6 材料厚度对轴向力的影响

Fig. 6 Effect of plate thickness on axial drilling force

4 结论

(1)在碳/环氧复合材料的钻削过程中在稳定状态时钻削力呈现有规律的周期性变化。

(2)在进给量不变的条件下,钻头转速越高钻削力越小。

(3)在转速不变的条件下进给量越大,钻削力越大,且影响最为显著。

(4)在转速和进给量不变的条件下钻头直径越大,钻削力越大。

(5)材料厚度实际上对钻削力有一定影响,在转速和进给量不变的条件下,厚度越大钻削力越大。

参考文献

- 1 罗鸿涛,陈鼎昌.难加工材料切削加工学.北京:北京航空航天大学出版社,1988:5
- 2 魏金华.复合材料的切削机理研究.北京航空学院硕士论文,1988
- 3 胡凡.复合材料钻削加工的研究.北京航空学院硕士论文,1985
- 4 张厚江.碳纤维复合材料钻削加工技术的研究.北京航空航天大学博士论文,1998
- 5 F-22 战斗机专集.航空周刊,1991;(43):85

(编辑 李洪泉)

数控电火花高速小孔机床

本项成果有效地解决了在淬火钢、耐热不锈钢、硬质合金钢等材料上进行高速加工的技术难题。本机床加工小孔速度 20 mm/min,孔径范围 0.3 mm~3 mm,最大深径比 150。本成果已在航空、航天、汽车、液压发动机等领域中广泛应用,经济效益显著,有推广应用价值。

(哈尔滨工业大学 0451-3621000-4060)

·李连清·

宇航材料工艺 2004 年 第 5 期