

# 铣刀前角和切削参数对中密度纤维板 表面粗糙度的影响

付玲, 张敬芝, 宁廷州

(枣庄学院机电工程学院, 山东枣庄 277160)

**摘要:** 通过分析金刚石刀具前角和切削参数对中密度纤维板表面粗糙度的影响, 结果表明: 随着刀具前角的增大, 切削质量改善; 而随着每齿进给量或铣削深度的增大, 切削质量均变差; 对加工表面粗糙度影响最大的是每齿进给量, 其次为铣削深度和刀具前角。在刀具前角  $12^\circ$ , 每齿进给量 0.5 mm, 铣削深度 1 mm 的最优参数组合时, MDF 的平均表面粗糙度较低, 为  $3.82\ \mu\text{m}$ 。

**关键词:** 中密度纤维板; 铣削; 刀具前角; 切削参数; 表面粗糙度

中图分类号: TS653; TQ433

文献标识码: B

文章编号: 1001-8654 (2019) 05-0053-04

## Effect of Milling Tool Rake Angles and Cutting Parameters on Surface Roughness of Medium Density Fiberboard

FU Ling, ZHANG Jing-zhi, NING Ting-Zhou

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Zaozhuang University, Zaozhuang 277160, Shandong, China)

**Abstract:** Effects of milling tool rake angles and cutting parameters on surface roughness of medium density fiberboard (MDF) were investigated.

The results showed that the surface roughness improved with the increase of rake angles. While the increase of feed per tooth and/or cutting depth resulted in poorer surface roughness. The feed per tooth had the greatest effects on the machined surface, followed by the cutting depth and the rake angles. The optimum cutting condition obtained by range analysis were  $12^\circ$  rake angle, feed per tooth in 0.5 mm and cutting depth in 1 mm. The average surface roughness of the MDF samples was only  $3.82\ \mu\text{m}$ .

**Key words:** medium density fiberboard; milling; rake angle; cutting parameter; surface roughness

随着木材资源的短缺、制造工业的快速发展, 以及家具设计的拓展等, 家具材料已经从单一木材向木质复合材料方向发展。在众多的木质复合材料中, 中密度纤维板 (MDF) 因质地细腻、性能稳定

和表面装饰性好等特点, 被广泛应用于地板、家具、建筑、包装、车船、室内装饰装修等领域, 备受消费者青睐<sup>[1-3]</sup>。据中国林产工业协会统计, 2018 年我国地板销售总量约 41 760 万  $\text{m}^2$ , 其中, 浸渍纸层压木质地板的销售量高达 21 360 万  $\text{m}^2$ <sup>[4]</sup>。

随着 MDF 在家具、装修领域的广泛应用, 对 MDF 产品的加工质量也提出了更高的要求。切削加工质量直接决定产品的表面质量, 进而影响产品的使用性能, 因此一直受到关注。

收稿日期: 2019-01-09; 修改日期: 2019-08-07

基金项目: 枣庄学院博士科研启动基金项目“蜂窝状生物质固化燃料成型机理及其试验研究” (2018BS030)。

作者简介: 付玲 (1984—), 女, 助教。Email: fuling841225@163.com。

责任作者: 宁廷州, 男, 讲师。Email: ning-tingzhou@163.com。

在 MDF 的铣削加工时,表面粗糙度随主轴转速的增大呈减小趋势,而随着每转进给量的增大而增大<sup>[5]</sup>。在铣削时的每齿进给量、切削速度和刀具角度对切削力及切削质量有着显著的影响<sup>[6-8]</sup>。为了减少换刀频率,提高生产效率,在 MDF 实际生产过程中,金刚石以其极高的硬度和耐磨性被广泛使用<sup>[9]</sup>。但是如果切削加工参数设置不合理,刀具角度选用不当等,仍会导致产品加工质量变差、生产成本升高等问题<sup>[10]</sup>。

鉴于此,笔者采用金刚石刀具进行铣削 MDF 的试验,分析刀具前角及切削参数对 MDF 铣削加工表面质量的影响,以期找出较优的切削参数组合,以提高产品的加工质量,为 MDF 的优质加工,提供技术依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

1) 中密度纤维板 (MDF),外购。为杨木和松木混和纤维施加脲醛树脂胶压制而成,密度 0.76 g/cm<sup>3</sup>,含水率 7.31%,施胶量 13%。

试板幅面尺寸 800 mm×180 mm×8 mm,静曲强度 32.15 MPa,内结合强度 0.77 MPa。共 18 块。

2) 聚晶金刚石 (PCD) 圆柱直齿铣刀:宁波某超硬工具有限公司产。刀具圆柱直径 120 mm,硬度 8 000 HV,弹性模量 810 GPa,热导率 560 W/m·K,刀具后角 12°。

### 1.2 试验设备

BIESSE Rover Gold 数控加工中心,Shthde 表面粗糙度测量仪,NanoFocus 三维形貌轮廓仪。

### 1.3 试验设计

采用圆柱直齿金刚石刀具,对 MDF 进行逆向铣削,即铣刀与工件接触面的旋转方向和切削进给方向相反。

结合实际加工情况,首先采用单因素试验,考察刀具前角 ( $\gamma$ )、铣削深度 ( $h$ ) 以及每齿进给量 ( $U_z$ ) 等各个因素对 MDF 铣削加工表面质量的影响;在此试验基础上,综合评价各因素对 MDF 铣削加工表面质量的影响。

根据文献[5, 8],MDF 的铣削深度一般控制在 0.5~2.5 mm 范围内;金刚石刀具前角的选择范围为 8°

~16°。由此,设计了 3 种铣削深度  $h$ ,分别为:1、1.5 和 2 mm;刀具前角  $\gamma$  分别为:8°、12° 和 16°。

每齿进给量 ( $U_z$ ) 依据下式计算<sup>[11]</sup>:

$$U_z = \frac{U}{nz} \quad (1)$$

式中: $U$ —刀具进给速度,mm/min,通常在 18 000~54 000 mm/min 范围内; $n$ —刀具主轴转速,6 000 r/min; $z$ —齿数,6。

根据公式计算,设定每齿进给量 ( $U_z$ ) 分别为:0.5、1.0 和 1.5 mm。因素和水平见表 1。

表 1 试验因素与水平  
Tab.1 Experiment factors and levels

| 因素                      | 水平  |     |     |
|-------------------------|-----|-----|-----|
|                         | 1   | 2   | 3   |
| A 刀具前角 $\gamma/^\circ$  | 8   | 12  | 16  |
| B 每齿进给量 $U_z/\text{mm}$ | 0.5 | 1.0 | 1.5 |
| C 铣削深度 $h/\text{mm}$    | 1.0 | 1.5 | 2.0 |

### 1.4 切削性能检测及评价

以铣削后样板的表面粗糙度为评价指标。选用表面轮廓算术平均偏差  $R_a$  作为加工质量粗糙度的评价参数<sup>[12]</sup>,每组测量 6 次,结果取其平均值。

另外,采用三维形貌轮廓仪,测量已加工表面的三维形貌,直观反映样品表面的切削质量。

## 2 结果与讨论

### 2.1 单因素试验结果

#### 2.1.1 刀具前角

采用不同前角的刀具铣削加工 MDF,其表面粗糙度测试结果及三维形貌,如图 1 所示。

图 1a 显示,在相同的切削参数 ( $h=1.5$  mm,  $U_z=1$  mm) 条件下,随着刀具前角从 8° 增加到 16°,铣削 MDF 的表面粗糙度逐渐减小,表明切削质量得到改善。

图 1b 显示,当刀具前角为 8° 时,MDF 加工表面凹凸不平,随着刀具前角增大,加工表面逐渐变得平滑。这是因为随着刀具前角的增大,楔角变小,刀具切入工件越容易,切削层变成切屑时的形变减小,切削刃对加工表面的破坏降低,因此,切削质量得到改善,也说明刀具前角对 MDF 的加工质量影响明显。

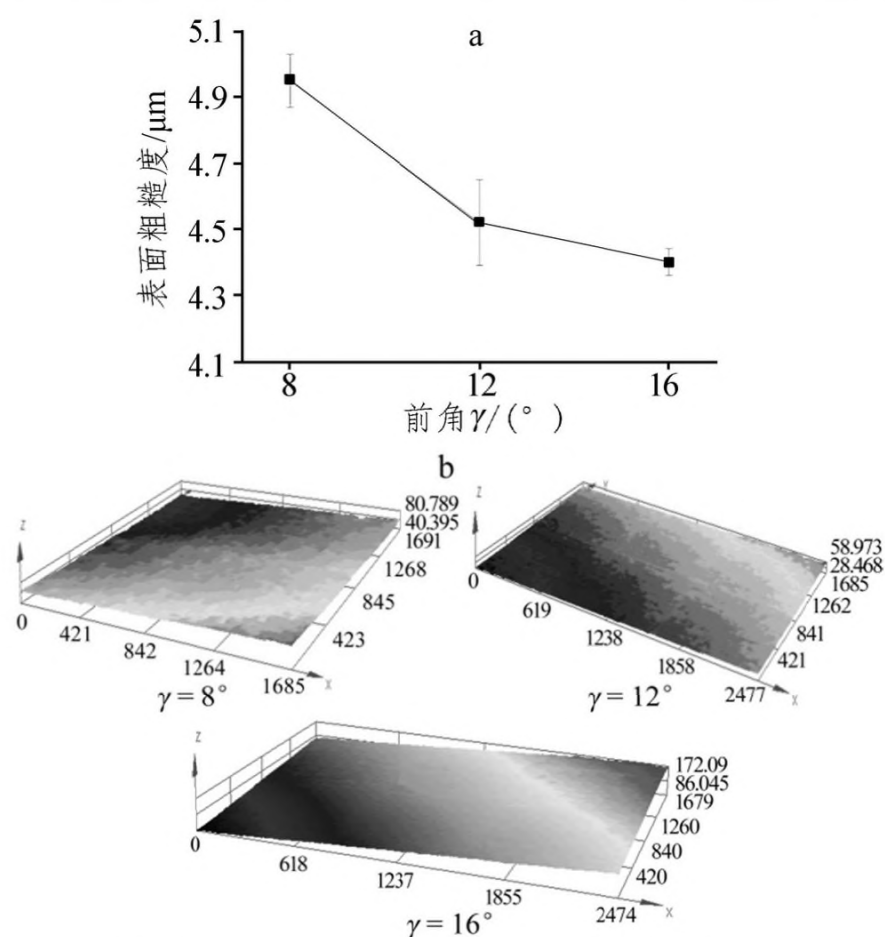


图1 不同刀具前角切削时MDF的表面粗糙度及其三维形貌  
Fig.1 Surface roughness and 3D morphology of MDF samples cut with different rake angles

### 2.1.2 每齿进给量的影响

每齿进给量  $U_z$  对 MDF 加工表面粗糙度及三维形貌的影响, 如图2所示。

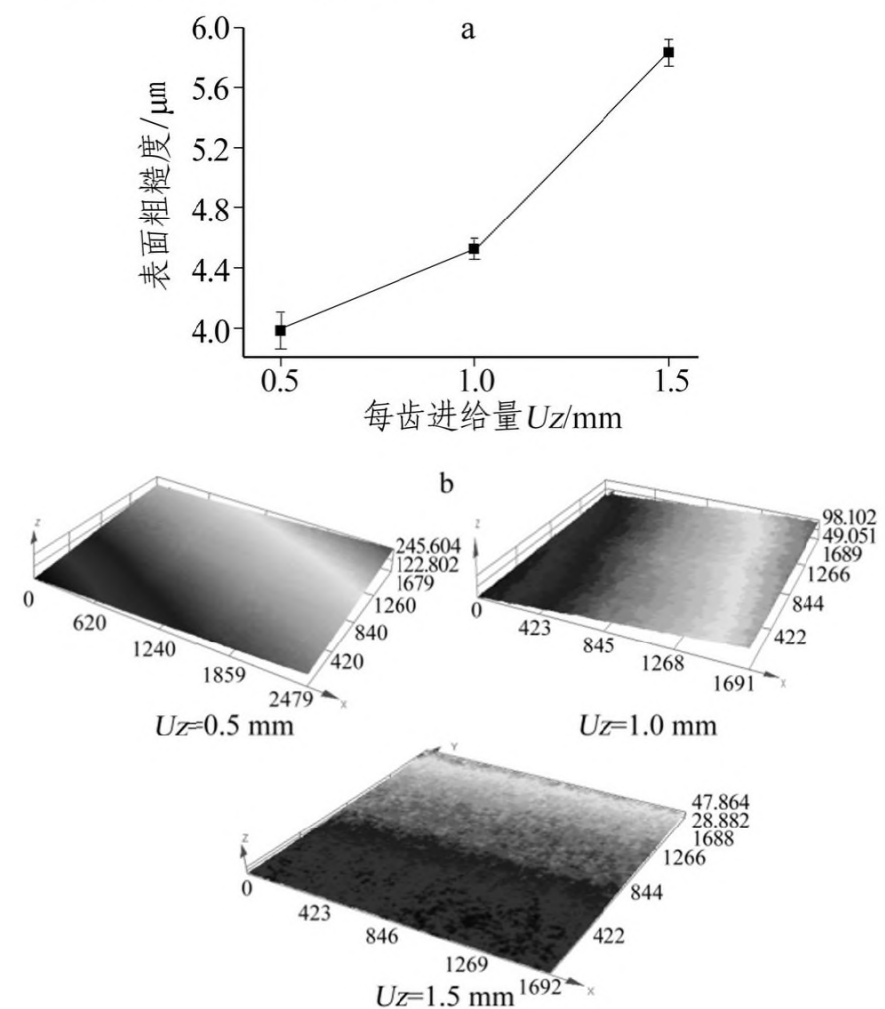


图2 每齿进给量对MDF表面表面粗糙度和三维形貌的影响  
Fig.2 Influence of feed per tooth on surface roughness and 3D morphology of MDF samples

每齿进给量指铣刀旋转一个齿间角时, 相对工件在进给方向的位移。而铣削切削轨迹为摆线, 所以会在加工表面留下了规律的运动波纹。根据铣削加工表面运动波纹的高度相关计算公式<sup>[11]</sup>可知, 每齿进给量的增大, 可使得运动波纹的高度变大, 其直接影响到已加工表面的粗糙度。

图2a显示, 随着每齿进给量的增大, 加工表面的粗糙度亦呈增大趋势。通过观察分析图2b可知, 当每齿进给量为0.5 mm时, 加工表面较平滑, 当每齿进给量增加到1.5 mm时, 加工表面呈现明显凹凸状, 表面较粗糙, 与以往的研究结果相似<sup>[5]</sup>。即随着每齿进给量的增大, MDF表面的加工质量变差。

### 2.1.3 铣削深度的影响

铣削深度  $h$  对 MDF 表面粗糙度及三维形貌的影响, 如图3所示。

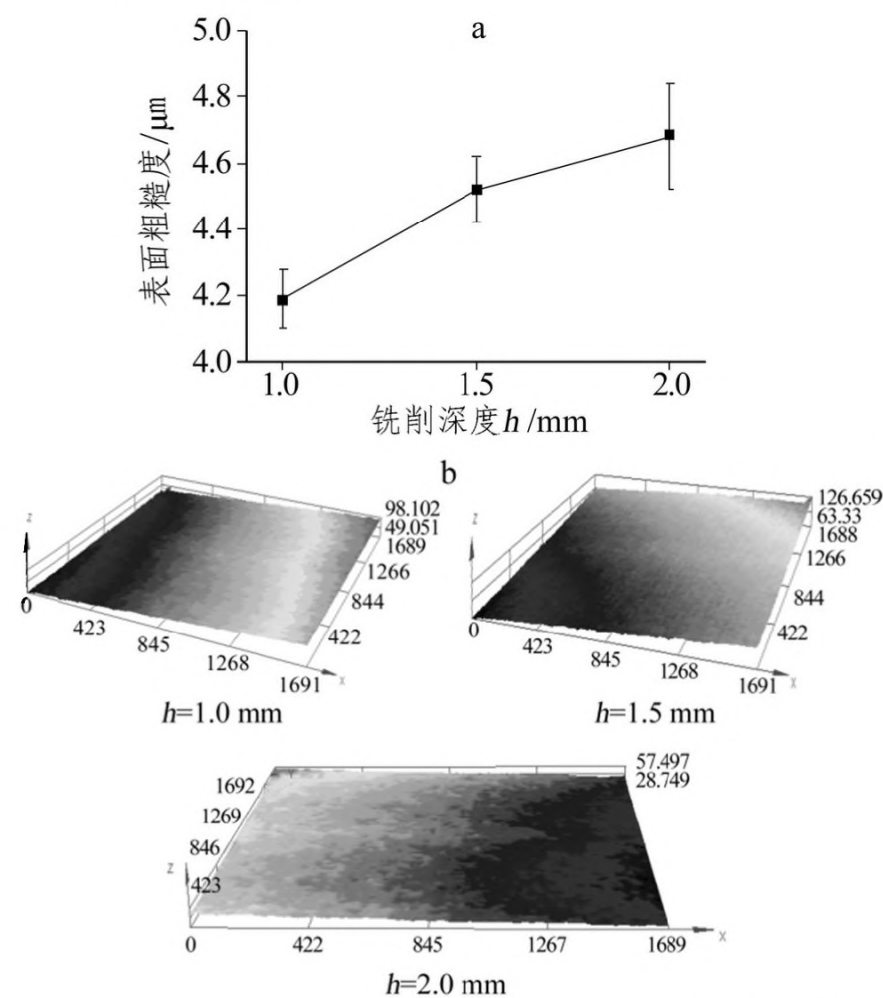


图3 铣削深度对MDF表面表面粗糙度和三维形貌的影响  
Fig.3 Influence of cutting depth on surface roughness and 3D morphology of MDF samples

图3显示, 加工表面粗糙随着铣削深度的增大而增大。当铣削深度为1.0 mm时, 加工表面较平滑; 当铣削深度增大至2.0 mm时, 表面呈现明显的凹凸不平。铣削的切削深度, 类似于纵向车削中的每转进给量, 即刀具的进给方向垂直于工件回转轴线; 该结论与车削过程中每转进给量对表面质量的影响

趋势契合<sup>[5]</sup>。铣削深度的增大,意味着单位时间内加工量变大,切削刃受到来自工件的阻力变大,即降低了切削的稳定性,导致加工表面粗糙度增大,MDF的铣削加工质量变差。

2.2 极差分析与验证试验

MDF 铣削表面粗糙度的测试结果和极差分析结果,列于表 2。

表 2 MDF 切削表面粗糙度及极差分析  
Tab.2 Surface roughness and range analysis of  
MDF samples

| 编号    | $A (\gamma^\circ)$ | $B (U_z/\text{mm})$ | $C (h/\text{mm})$ | $R_a/\mu\text{m}$ |
|-------|--------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| 1     | 8                  | 0.5                 | 1                 | 3.98              |
| 2     | 8                  | 1                   | 1.5               | 4.95              |
| 3     | 8                  | 1.5                 | 2                 | 5.34              |
| 4     | 12                 | 0.5                 | 1.5               | 3.98              |
| 5     | 12                 | 1                   | 2                 | 4.68              |
| 6     | 12                 | 1.5                 | 1                 | 4.93              |
| 7     | 16                 | 0.5                 | 2                 | 3.49              |
| 8     | 16                 | 1                   | 1                 | 4.35              |
| 9     | 16                 | 1.5                 | 1.5               | 5.83              |
| $x_1$ | 4.757              | 3.817               | 4.420             |                   |
| $x_2$ | 4.530              | 4.660               | 4.920             |                   |
| $x_3$ | 4.557              | 5.367               | 4.503             |                   |
| $R$   | 0.227              | 1.550               | 0.500             |                   |

表 2 显示,三因素对加工表面粗糙度的影响顺序依次为,每齿进给量>铣削深度>前角。根据极差分析结果,最优的方案为  $A_2B_1C_1$ ,即前角为  $12^\circ$ ,每齿进给量为 0.5 mm,铣削深度为 1 mm。

根据表 2 确定的最优工艺参数,进行 MDF 铣削加工的验证试验。经测试,MDF 加工表面的粗糙度为  $3.82 \mu\text{m}$ 。与表 2 中结果对比,可以认为,该切削工艺组合下,MDF 的表面质量最优。

3 结论

1) MDF 的铣削加工表面粗糙度,受每齿进给量的影响最大,铣削深度次之,刀具前角的影响最小。

2) 在本试验范围内,采用金刚石刀具,以前角  $12^\circ$ 、每齿进给量 0.5 mm、铣削深度为 1 mm 的优

化工艺条件进行铣削加工,MDF (密度为  $0.756 \text{ g/cm}^3$ ) 的表面粗糙度可降低为  $3.82 \mu\text{m}$ 。

3) 不同密度纤维板的切削性能不同,因此,MDF 密度对切削质量的影响,有待进一步试验研究。

参考文献:

[1] 刘迎涛,李坚,王清文. FRW 阻燃中密度纤维板的热性能分析[J]. 东北林业大学学报, 2006, 34(5): 61-62.  
LIU Y T, LI J, WANG Q W. Thermal analysis technology of FRW fire-retardant medium density fiberboard[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2006, 34(5): 61-62.

[2] 满文焕, 兴丰. 中密度纤维板生产技术的发展趋势[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(2): 79-82.  
MAN W H, XING F. Development trends of manufacturing technology of MDF[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2002, 24(2): 79-82.

[3] 杨汉兴. 世界中密度纤维板生产现状和发展趋势概述[J]. 木材工业, 1991, 6(2): 43-45.  
YANG H X. Summary of the current status and development trend of medium density fiberboard in the world[J]. China Wood Industry, 1991, 6(2): 43-45.

[4] 中国林产工业协会. 2018 年我国地板/装饰纸行业销量概况[J]. 木材工业, 2019, 33(2):55.

[5] ZHU Z L, Buck D, GUO X L, et al. Machinability investigation in turning of high density fiberboard[J]. Plos One, 2018, 13(9): 1-13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203838>

[6] GUO X L, ZHU Z L, Ekevad M, et al. The cutting performance of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{Si}_3\text{N}_4$  ceramic cutting tools in the milling plywood [J]. Advances in Applied Ceramics. 2017(1): 16-22.

[7] Dippon J, Ren H, Ben A F, et al. Orthogonal cutting mechanics of medium density fiberboards[J]. Forest Products Journal, 2000, 50: 25-30.

[8] 郭晓磊, 朱南峰, 王洁, 等. 切削速度和切削厚度对纤维板切削力和表面粗糙度的影响[J]. 林业工程学报, 2016, 1(4): 114-117.  
GUO X L, ZHU N F, WANG J, et al. Effect of cutting speed and chip thickness on cutting forces and surface roughness of fiberboard[J]. Journal of Forestry Engineering, 2016, 1(4): 114-117.

[9] 曹平祥. 金刚石刀具在木材加工中的应用[J]. 木材工业, 2003, 17(5): 14-16.  
CAO P X. Application of polycrystalline diamond woodworking cutters[J]. China Wood Industry, 2003, 17(5): 14-16.

[10] Gaitonde V N, Karnik S R, Paulodavim J. Prediction and minimization of delamination in drilling of medium-density fiberboard (MDF) using response surface methodology and taguchi design[J]. Advanced Manufacturing Processes, 2008, 23(4):8.

[11] 李黎. 木材切削原理与刀具[M]. 北京: 中国林业出版社, 2005.

[12] 陈德林, 朱跃峰. 公差配合与测量技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2010.

(责任编辑 孟凡丹、向 琴)

本刊微信公众号: mucaigongye 微信扫码(见封面)订阅更便捷、更优惠

全国各地邮局办理订阅(邮发代号: 2-311) 投稿请认准本刊唯一官网: mcgy.criwi.org.cn