

研究与开发

# 木材锯切表面粗糙度二维分析与三维分析对比

李伟光, 张占宽, 张楷

(中国林科院木材工业研究所; 国家林业局木材科学与技术重点实验室, 北京 100091)

**摘要:** 使用传统的二维轮廓测定方法, 测量木材锯切表面粗糙度准确度不高。利用三维表面轮廓成像技术测定木材锯切表面粗糙度, 可获得较为准确的检测值和更真实的锯切表面微观形貌。

**关键词:** 木材锯切; 表面粗糙度; 三维形貌; 二维轮廓

中图分类号: S781.61; TS65 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2014)05-0013-03

## Comparison between 2D Contour and 3D Topography for Testing Surface Roughness on Sawn Lumber

LI Wei-guang, ZHANG Zhan-kuan, ZHANG Kai

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry;

Key Laboratory of Wood Science and Technology of State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

**Abstract:** Surface roughness is normally measured by a conventional two-dimensional (2D) contour method which doesn't accurately reflect the actual situation. Therefore, a three-dimensional (3D) surface profile imaging technique was introduced. Experimental results showed that more accurate surface roughness and more realistic surface morphology were obtained using 3D surface profile imaging.

**Key words:** sawing lumber; surface roughness; 3D topography; 2D contour

切削是木材加工中必不可少的常见加工工序之一, 木材表面粗糙度是指木材表面经切削加工或加压后, 形成的具有较小间距和峰谷所组成的微观几何形状特征, 其直接影响木制品的胶合和涂饰性能, 是评定木制品表面质量的重要指标, 亦关系到后期加工工艺的设定和加工余量的确定<sup>[1-2]</sup>, 是木材切削和木制品检测理论的一个重要研究分支。

目前多采用金属和塑料等均质工程材料所用的二维测定法, 用于木材及其制品表面粗糙度的测定<sup>[3]</sup>。由于木材是各向异性材料, 年轮变化、密度以

及早晚材细胞结构不同, 其物理、力学性能与均质工程材料相差较大, 在加工过程中, 木材切削表面形貌与匀质材料会有很大差别<sup>[4-6]</sup>。二维粗糙度评定依赖于轮廓线, 不能从整体上反映表面的微观特性, 且木材表面的某些特性, 如切削加工产生的纤维搓起、撕裂、挖切等现象, 二维评定无法描述。因此, 二维测定方法无法准确反映木材表面的粗糙度。

近年来, 随着计算机技术的发展, 特别是光学技术的发展, 粗糙度测量开始向三维评定转变。三维评定是在二维法的基础上增加一维(y 向)的微观表面评定(图 1), 可以获得被测表面一定区域内各点的  $x$ 、 $y$ 、 $z$  三个方向的坐标值, 从而进行三维参数的计算和三维形貌的表征<sup>[7-8]</sup>。

收稿日期: 2014-03-27; 修改日期: 2014-08-06

基金项目: 国家自然科学基金项目“微量零锯料角锯齿木材锯切特性与机理研究”(31270605)。

作者简介: 李伟光(1983—), 男, 中国林科院木材工业研究所助理研究员。

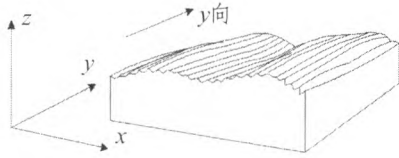


图1 三维表面粗糙度

Fig. 1 3D surface roughness

红橡是木制品加工中常用的树种之一,环孔材早晚材管孔差异较大,早晚材差异是影响粗糙度的重要因素,且其较散孔材易观察。

鉴于此,笔者采用三维形貌测量技术,对红橡木材锯切表面粗糙度进行检测和分析,旨在完善木材切削和木制品粗糙度检测理论,为木材表面粗糙度三维检测走向实际应用,提供技术依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

红橡 (*Quercus coccofera*), 外购, 气干密度  $0.75 \text{ g/cm}^3$ , 含水率  $18\%$ , 规格 (长  $\times$  宽  $\times$  厚)  $40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ 。

锯片, 外购, 硬质合金, 规格: 外径  $220 \text{ mm}$ , 齿宽  $1.4 \text{ mm}$ , 锯片厚  $1.0 \text{ mm}$ , 孔径  $65 \text{ mm}$ , 齿数  $32$ , 转速  $5\,000 \text{ r/min}$ 。

### 1.2 试验装置

采用探针式 NanoMap-500LS 三维轮廓仪, 可进行二维轮廓测量和三维形貌测量。采用压电陶瓷传感器配合闭环电容传感器, 反馈位置信息, 样品台在纳米级平整度的光学参考平台上沿  $x$ 、 $y$  方向运动。垂直分辨精度  $0.1 \text{ nm}$ , 纵向测量范围  $0 \sim 524 \mu\text{m}$ , 扫描范围  $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ 。采样速度  $300 \mu\text{m/s}$ , 采样间距  $60 \mu\text{m}$ , 采样面积  $30 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$ 。

本试验所选择的测量参数有: 二维算术平均偏差 ( $R_a$ ) 和三维算术平均偏差 ( $S_a$ ), 通过仪器自带软件计算得出。  $R_a$  与  $S_a$  及其相对偏差的计算见公式 (1)~(3) [9]。

$$R_a = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i| \quad (1)$$

$$S_a = \frac{1}{MN} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M |\mu(x_i, y_j)| \quad (2)$$

$$\text{相对偏差} = \frac{|S_a - R_a|}{S_a} \times 100\% \quad (3)$$

式中:  $M$ — $x$  轴采样点数;  $N$ — $y$  轴采样点数;  $y_i$ —二

维测量采样点的纵向高度 ( $z$  轴),  $\mu\text{m}$ ;  $\eta(x_i, y_j)$ —三维测量采样点的纵向高度 ( $z$  轴),  $\mu\text{m}$ 。

### 1.3 试验方法

将红橡锯切成尺寸稳定性较高的径切板, 采用轮廓仪对试样径切面进行扫描。选取试样长度进行滤波, 得到滤波后的表面三维形貌图, 然后利用轮廓仪自带软件计算  $S_a$ 。

从滤波后的三维形貌图中选取 9 条母线, 每两条母线间隔  $3 \text{ mm}$ , 计算得出 9 组  $R_a$ 。

通过  $R_a$  与  $S_a$  的计算, 并结合二维轮廓图和三维形貌图的对比, 分析  $R_a$  与  $S_a$  在木材切削表面质量评价中的应用效果。

## 2 结果与分析

图 2 为试样表面的二维轮廓图和三维形貌图; 图 3 是 9 条母线中第 2、6 条的二维轮廓分析图; 表 1 为二维测量和三维测量的粗糙度参数。

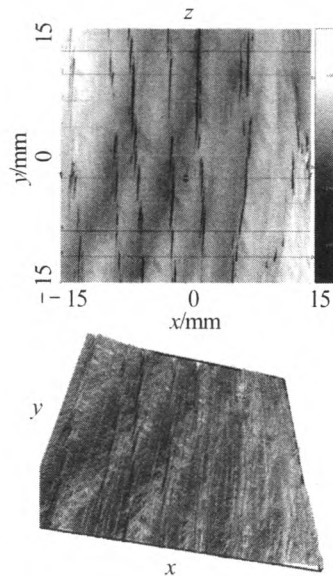


图2 红橡锯切表面 2D 轮廓及 3D 形貌图

Fig. 2 2D contour and 3D topography surface of samples

从图 2 看出, 表面轮廓图中的 9 条直线分别代表所选取的 9 条母线, 测得的  $R_a$  来源于这 9 条母线; 三维形貌图中, 色深处为表面凹陷处, 色亮部分为表面突起处, 与表面轮廓图相比, 三维形貌图更能真实反映木材锯切表面微观特征。

图 3 中 2 条母线的变化趋势明显不同, 说明轮廓选取位置对粗糙度测量结果有较大影响。

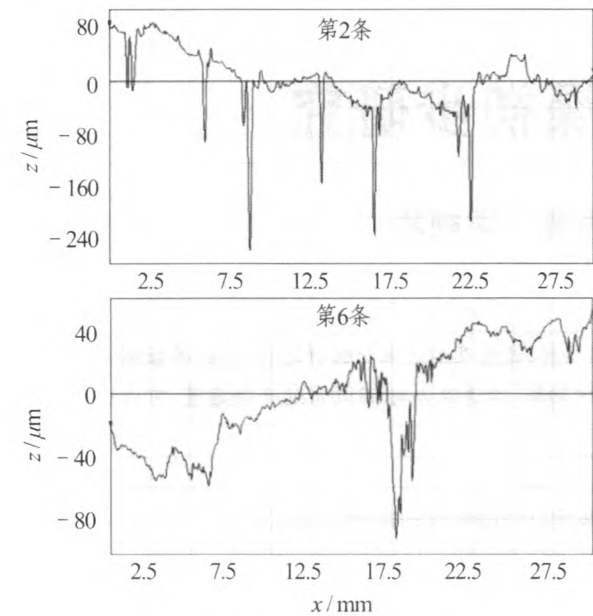


图 3 二维轮廓分析

Fig. 3 2D contour analysis chart of samples

表 1 二维测量和三维测量的粗糙度参数

Tab. 1 Roughness of 2D contour and 3D topography analysis of samples

| 母线 | 检测值/ $\mu\text{m}$ |       | 相对偏差/% |
|----|--------------------|-------|--------|
|    | $R_a$              | $S_a$ |        |
| 1  | 2.29               |       | 13.53  |
| 2  | 2.88               |       | 31.25  |
| 3  | 2.94               |       | 32.65  |
| 4  | 3.03               |       | 34.65  |
| 5  | 2.93               | 1.98  | 32.42  |
| 6  | 1.14               |       | 73.68  |
| 7  | 1.73               |       | 14.45  |
| 8  | 2.56               |       | 22.66  |
| 9  | 2.25               |       | 12.00  |

表 1 显示,  $R_a$  的最大值和最小值相差  $1.89\mu\text{m}$ , 是因为二维轮廓测定法对位置的变化非常敏感。

$R_a$  与  $S_a$  的相对偏差多数  $>20\%$ , 且  $S_a$  较  $R_a$  小。分析原因, 主要是由于这两种分析方法具有本质区别, 三维评定可获得被测表面一定区域内各点的 3 个方向的坐标值, 增加的一维的数值在一定程度上对粗糙度值有抵消作用。因此,  $S_a$  相对较小。

$R_a$  提供的是表面单一轮廓上的轮廓高度和间距上的信息, 适用于各向同性的材料表面粗糙度的测量, 但木材是各向异性材料, 在不同切面上的表面结构与力学性能不同; 同一切面方向上, 木材组织构造与排列亦不同, 如阔叶树材弦切面上的纹理、导管槽

深度、木纤维直径与排列方向, 及木射线在弦切面的形态等, 木材切削时会出现纤维断裂、木材纤维沿长度方向暴露等现象, 在已加工木材表面就会被搓起、撕裂、挖切<sup>[10]</sup>; 此外, 木材切削过程产生的切削热, 也会使加工表面温度升高出现表面烧伤, 或因含水率快速降低, 而引发表面开裂等表面微观形貌特征。这些分布在表面局部的信息, 二维评定方法难以全面收集, 而三维参数取点于整个区域, 可全面地反映木材表面微观形貌特征。

此外, 本试验中  $R_a$  值较以往的测量值偏小, 分析原因, 为避免探针划伤木材表面而影响测量准确性, 试验设定的探针与木材接触重量较小所致。

### 3 结论

1) 在木材同一切削表面, 9 组  $R_a$  的差异较大,  $R_a$  与  $S_a$  的相对偏差大多达  $20\%$  以上。二维分析法在各向异性的木材切削表面粗糙度测量中具有一定的局限性, 宜考虑使用可全面、真实反映表面形貌的三维分析法。

2) 三维分析法用于木材及其制品的表面粗糙度测量方法, 有待进一步完善并制定相关标准。

### 参考文献:

[1] 张莲洁, 孟庆军, 金维洙. 浅谈国内外木材表面粗糙度的研究现状及发展趋势[J]. 林业机械与木工设备, 2000, 28(2): 7-9.

[2] 王明枝, 王瑛洁, 李黎. 木材表面粗糙度的分析[J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(1): 14-18.

[3] Peters C C, Cumming J D. Measuring wood surface smoothness: A review[J]. Forest Products Journal, 1970, 20(12): 40-43.

[4] I Bremaud, J Gril, B Thibaut. Anisotropy of wood vibrational properties: dependence on grain angle and review of literature data[J]. Wood Sci Technol, 2010, 45(4): 735-754.

[5] M A Donertas. The influence of feed rate and cutting speed on the cutting forces, surface roughness and tool-chip contact length during face milling [J]. Mater Des, 2005, 28(1): 308-312.

[6] Forest Products Lab. Wood Handbook, Wood as an Engineering Material [M]. Madison: Forest Products Society, 1999.

[7] 李志强. 表面微观形貌的测量及其表征[D]. 重庆: 重庆大学, 2006: 29-34.

[8] 温秀兰, 赵艺兵. 三维表面粗糙度的研究[J]. 计量与测试技术, 2001(1): 13-14.

[9] 李成贵, 董申. 三维表面微观形貌的表征参数和方法[J]. 宇航计测技术, 1999, 19(6): 33-41.

[10] 周之江. 木材切削原理与刀具[M]. 北京: 中国林业出版社, 1983: 147-151.

(责任编辑 张一萍)