

# 复合材料切削表面粗糙度测试方法的研究

王金明 杨志翔

(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)

**文 摘** 利用先进的 TalyScan150 型表面粗糙度测试仪,采用不同测试手段和不同测试参数对复合材料切削试样表面进行测量、计算,得出复合材料切削表面粗糙度;通过比较分析,得到了适用于复合材料切削表面粗糙度测试的手段及参数,建立了复合材料切削表面粗糙度的测试方法,该方法为全面评价复合材料表面质量提供了测试基础。

**关键词** 复合材料,表面粗糙度,测试参数,切削表面

## Study of Roughness Measurement on Cutting Surface of Composites

Wang Jinming Yang Zhixiang

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

**Abstract** With use of a advanced measuring instrument TalyScan 150, cutting surface of samples of composites is measured and analyzed, and surface roughness is also derived by different means of measurement and different measuring parameters. Through comparison, method of roughness measurement on cutting surface of composites as well as suitable means and parameters of measurement is obtained, which may lay foundations for precise evaluation of surface quality of composites.

**Key words** Composite, Surface roughness, Measuring parameter, Cutting surface

### 1 前言

复合材料具有高比强度、高比模量、高可设计性、耐腐蚀等单一材料无法比拟的优异综合性能,在航空、航天领域的应用日益广泛<sup>[1]</sup>,许多飞机、火箭、导弹、航天器的零部件为达到设计功能,都采用复合材料来制备,而一些工件材料表面质量的优劣将直接影响到工件的使用功能能否正常发挥<sup>[2,3]</sup>,因此对复合材料表面粗糙度进行测量,进而对复合材料表面质量进行评价,对于判断工件质量好坏具有重

要意义。评价复合材料表面粗糙度的测量值的精度通常受测量仪器、测试手段、测试参数等因素的影响。本文通过研究分析,探索适用于复合材料切削表面的测试方法和测试参数,为评价复合材料表面质量奠定基础。

### 2 复合材料切削表面粗糙度测试手段的确定

由于三维表面形貌分析方法能够真实地反映复合材料的表面质量,因此在研究中均采用三维表面分析粗糙度参数  $S_a$  代替二维轮廓分析粗糙度

收稿日期:2003-10-24

王金明,1974年出生,博士,主要从事材料设计、表面质量评价、有限元仿真分析等工作  
宇航材料工艺 2004年 第4期

参数  $R_a$  进行比较分析<sup>[4]</sup>,  $S_a$  的数学表达为<sup>[5]</sup>:

$$S_a = \frac{1}{A} \int_A z(x, y) dx dy \quad (1)$$

式中,  $A$  为取样面积。

将测试面积离散为  $x - y$  两向测量点阵的组合, 则上式可近似为:

$$S_a = \frac{1}{M} \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} z_{x,y} \quad (2)$$

式中,  $M, N$  分别为取样面积  $A$  在  $x, y$  向的离散点数,  $z_{x,y}$  为离散点的表面偏距。

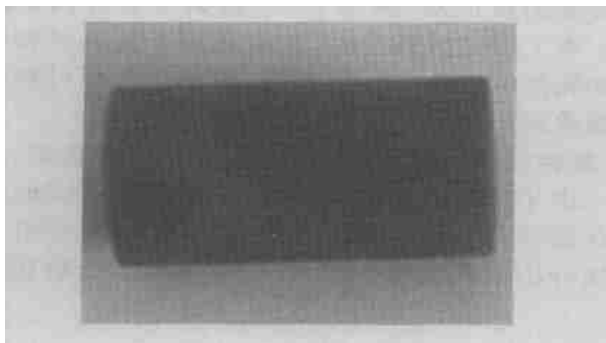
测量设备采用 TalyScan 150 型表面粗糙度测试仪(图 1), 测试用复合材料试样尺寸及照片见图 2。

TalyScan 150 型表面粗糙度测试仪可以采用接触式(探针)与非接触式(激光)两种测量手段对材料表面进行粗糙度测试。为了寻求适合复合材料表面粗糙度的测量手段, 分别采用接触式探针测量和非接触式激光测量两种方法对两种复合材料试样表面进行了测试, 并对结果进行了对比性研究(表 1)。

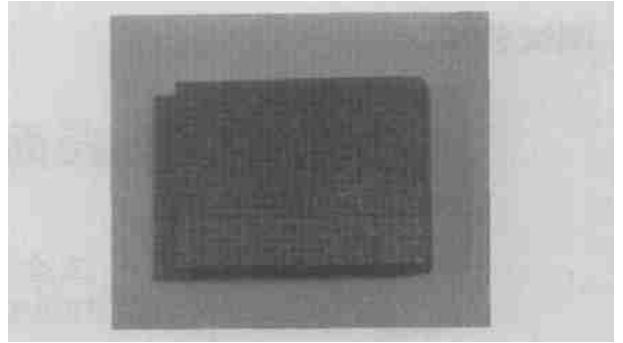


图 1 TalyScan150 型表面粗糙度测试仪

Fig. 1 Measuring instrument TalyScan 150 for surface roughness



(a) 车削(  $b = 19 \text{ mm}, L = 30 \text{ mm}$  )



(b) 铣削试样(20 mm ×20 mm)

图 2 复合材料测试试样

Fig. 2 Measuring samples of composite

表 1 不同测试手段的复合材料表面粗糙度  $S_a$  对比

Tab. 1  $S_a$  value comparison for different measuring means

试样材料	接触式/ $\mu\text{m}$	非接触式/ $\mu\text{m}$	偏差/ $\mu\text{m}$
碳/酚醛	11.2	12.9	1.70
	10.9	12.4	1.50
	9.84	11.2	1.36
	9.90	11.3	1.40
	10.8	13.3	2.50
	10.8	13.0	2.20
碳/碳	4.12	4.72	0.60
	4.13	4.60	0.47
	8.97	12.2	3.23
	9.02	11.0	1.98
	4.65	6.50	1.85
	4.96	6.72	1.76

由表 1 可见, 非接触式激光测量与接触式探针测量的偏差很大, 最大、最小偏差分别为  $3.23 \mu\text{m}$  及  $0.47 \mu\text{m}$ 。

进行接触式探针测量时, 由于碳/酚醛、碳/碳复合材料切削表面存在拔出纤维和未切断的纤维毛刺以及大量微小的孔洞、沟槽, 探针球头无法测量到这些细微缺陷, 而且探针与复合材料表面的纤维、毛刺长时间相互摩擦, 导致探针头磨损, 因而不能真实反映所测表面状态, 导致其测得的  $S_a$  与非接触式测量测得的数值相比较小。

非接触式激光测量利用激光束的反射来判断表面的凹凸, 在测试过程中复合材料表面拔出纤维和未切断的纤维毛刺不会受到损伤, 并且能够检测到

细微凸起,同时对微小的孔洞、沟槽能够客观真实地反映,其测得的  $S_a$  的数值相比较较大。

由上述分析可见,对于复合材料切削表面质量的测试,非接触式激光测量方法的测量结果误差小,测量精度高,能够测试复合材料切削表面的微观孔洞、沟槽和竖起的细小纤维毛刺,以及切削过程中拔出的纤维;而接触式测量则无此优越性,同时如果表面起伏较大(如烧蚀表面),接触探针也容易折断。因此,非接触式激光测量更适于作为复合材料切削表面质量评价的主要测试手段。

### 3 复合材料切削表面粗糙度测试参数对测试结果的影响

影响复合材料切削表面粗糙度测试精度的测试参数主要有测试速度、测试间距、测试面积等。利用 TalyScan150 型表面粗糙度测试仪器的测试速度、测试间距的可调性,分别采用不同测试速度、不同测试间距对同一复合材料表面进行测试,研究测试参数对测试结果的影响。同时,由于 TalyScan150 型表面粗糙度测试仪器的测试尺寸有限制,不可能完全扫描被测工件全部面积,因此还需对同一复合材料表面进行不同测试面积的测量,得到合理的测量面积。在上述测试之后,对测试结果进行统计分析,主要研究表面  $S_a$  的数值变化规律,根据该数值的变化规律,综合考虑测试成本(机时)、结果精度,选取一个最佳的测试速度、测试间距、测试面积作为复合材料表面的测试参数。

#### 3.1 测试速度的影响

在其他参数不变、仅改变测试速度的条件下,分别对复合材料切削试样的表面进行测试分析,结果如图 3 所示。

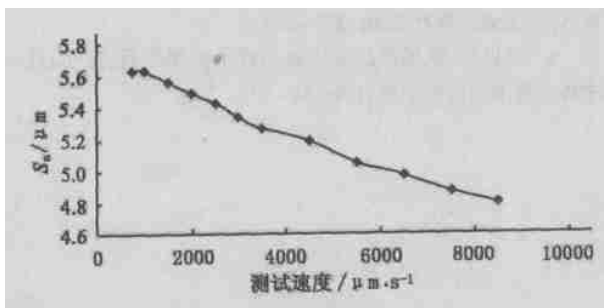


图 3  $S_a$  与测试速度的关系

Fig. 3 Measuring speed vs  $S_a$  curve

由图 3 可见,随着测试速度的增加,表面  $S_a$  逐渐减小,当测试速度为  $750 \mu\text{m}/\text{s}$  时,  $S_a$  最大值为  $5.63 \mu\text{m}$ 。由于测试工件平放在测试平台上,依靠工件自重与平台产生的摩擦力抵消移动惯性,显然测试速度小,被测工件移动平稳,测试数据的可信度高,相反测试数据的可信度低。考虑测试机时耗费因素,测试速度在  $2500 \mu\text{m}/\text{s} \sim 3500 \mu\text{m}/\text{s}$  较为适宜。

#### 3.2 测试间距的影响

在其他参数不变、仅改变测试间距的条件下,分别对复合材料切削试样的表面进行测试分析,结果如图 4 所示。

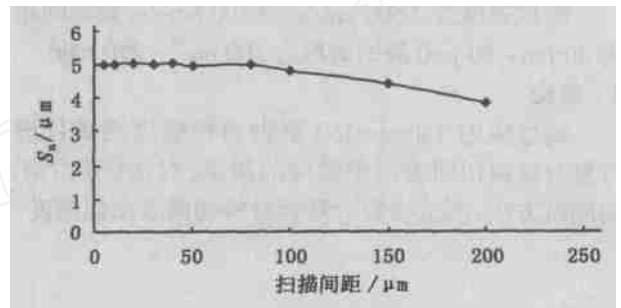


图 4  $S_a$  与扫描间距的关系

Fig. 4 Measuring space vs  $S_a$  curve

由图 4 可见,在测试间距小于  $80 \mu\text{m}$  时候,  $S_a$  几乎没有明显变化,而随着扫描间距的增加  $S_a$  逐渐减少。由于测试间距增大,一些缺陷在扫描过程中会被略过扫描不到,显然测试间距小,测试数据的可信度高,相反测试数据的可信度低。由于测试间距减小会导致测试时间急剧增加,因此测试间距在  $40 \mu\text{m} \sim 80 \mu\text{m}$  之间比较合适。

#### 3.3 测试面积的影响

其他参数不变、仅改变测试面积,分别对复合材料切削试样的表面进行测试分析,结果如图 5 所示。

由图 5 可以看出,在测试面积在小于  $40 \text{mm}^2$  的时候,随着扫描面积的增加  $S_a$  逐渐减小;而测试面积大于  $40 \text{mm}^2$  的时候,  $S_a$  变化趋势平缓。显然,测试面积越接近工件整体面积,测试数据的可信度高,相反测试数据的可信度低。同样考虑到对整体面积进行测试,对测试结果没有明显贡献,但会导致测试时间增长,因此测试面积在  $100 \text{mm}^2 \sim 250 \text{mm}^2$  即可。

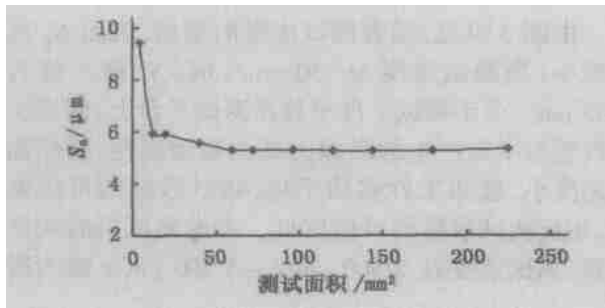


图5  $S_a$  与测试面积的关系

Fig.5 Measuring area vs  $S_a$  curve

综合上述分析结果,建议适合复合材料切削表面粗糙度的测试参数范围为:

测试速度为  $2\ 500\ \mu\text{m}/\text{s} \sim 3\ 500\ \mu\text{m}/\text{s}$ ;测试间距为  $40\ \mu\text{m} \sim 80\ \mu\text{m}$ ;测试面积为  $100\ \text{mm}^2 \sim 250\ \text{mm}^2$ 。

#### 4 结论

通过使用 TalyScan150 型表面粗糙度测试仪进行复合材料切削表面粗糙度的测试,对比研究了不同测试方法、测试参数对复合材料切削表面粗糙度

的影响。结果表明:

(1) 复合材料切削表面粗糙度采用非接触式(激光)测量方式进行测量,能够客观反映复合材料表面的真实状况;

(2) 复合材料切削表面粗糙度非接触式测量方式的测试参数范围是测试速度为  $2\ 500\ \mu\text{m}/\text{s} \sim 3\ 500\ \mu\text{m}/\text{s}$ ,测试间距为  $40\ \mu\text{m} \sim 80\ \mu\text{m}$ ,测试面积为  $100\ \text{mm}^2 \sim 250\ \text{mm}^2$ 。

#### 参考文献

- 1 郭正. 宇航复合材料. 宇航出版社,1999:15~22
- 2 俞汉清. 表面粗糙度标准及应用. 中国计量出版社,1997:8~30
- 3 Lonarde Pm, Trumpold H, Chiffre L De. Progress in 3D surface microtopography characterization. Annals of the CIRP, 1996; 45(2):589~592
- 4 杨志翔,王金明等. 复合材料表面二维轮廓分析和三维形貌分析的比较研究. 见:中国航天13情报网会议论文集,2002
- 5 Thomas T R. Trends in surface roughness. Jnt. J. Mach. Tools Manufact, 1998;38:405~411

(上接第50页)

结比较,可以发现,特种硅凝胶不仅涂布方便,而且性能稳定,各项指标都优越于 GN521。

#### 4 结论

通过压剪强度试验,在石英陶瓷与低膨胀合金的粘接过程中,使用特种硅凝胶涂布方便。在常温下,压剪强度为  $5.18\ \text{MPa}$ ;在  $200^\circ\text{C}$  的高温下,保温  $5\ \text{min}$ ,压剪强度仍可达  $3.22\ \text{MPa}$ ,胶层没有丝毫的脱离,其强度及耐高温性能完全符合要求。

#### 参考文献

- 1 程时远,陈正国. 胶粘剂生产与应用手册. 北京:化学工业出版社,2003:23~28
- 2 杨玉,廖增琨,余云照,卢凤才. 合成胶粘剂. 北京:科学出版社,1980:38~42
- 3 王箴. 化工辞典. 北京:化学工业出版社,1979:186,266
- 4 李盛彪,黄世强,王石泉. 胶粘剂选用与粘接技术. 北京:化学工业出版社,2002:277~295
- 5 吴民达. 机械产品胶接密封技术实用手册. 辽宁:辽宁科学技术出版社出版,1995:54~61