

文章编号: 1006-9941(2012)06-0775-04

PBX 炸药切削表面粗糙度评定及影响因素

张丘, 刘维, 唐贤进

(中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要: 考虑到炸药件表面微观结构影响其使用性能, 零件的测量精度和武器部件的使用可靠性, 测量了压装高聚物粘接炸药 (PBX) 车削表面的三维表面微结构, 评定和分析了其二维和三维表面粗糙度。结果表明: 三维表面粗糙度适合评定具有随机分布的崩落、坑窝缺陷的 PBX 的切削表面。三维参数评定优于二维参数评定。在相同切削参数下, 圆形刀比菱形刀车削的表面粗糙度小得多。切削进给量极大地影响表面粗糙度, 而切削速度对表面粗糙度影响不明显。

关键词: 特种加工工艺; 高聚物粘接炸药 (PBX); 车削加工; 表面粗糙度; 三维测量与评定

中图分类号: TJ55; TH161+.14

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2012.06.025

1 引言

炸药件表面微观结构对其使用性能 (如摩擦磨损、配合、接触刚度、表面粘结性能、表面老化性能等) 及零件的几何测量精度都会产生不可忽视的影响, 从而最终影响武器部件的使用可靠性。高聚物粘接炸药 (PBX) 是由粘弹性的粘结剂和硬脆性的炸药颗粒混合填充的一种复合材料, 经切削加工后其表面分布有大量的坑窝及其他缺陷^[1], 这使普通金属材料切削表面粗糙度的一些结论和经验公式对炸药材料不适用以及普通金属材料表面粗糙度的评定标准也不完全适用。然而, 迄今为止, 在炸药部件的设计、制造和使用中, 仍缺乏对表面粗糙度的控制标准与评价方法。因此, 探索炸药切削表面粗糙度的评价方法对于优化武器用炸药部组件设计、提高表面质量一致性和产品使用性能具有基础性意义。

在非均质复合材料及一些特殊材料的表面结构表征方面, 表面粗糙度的三维测量与评定成为许多学者关注的焦点^[2-7], 赵福令、艾传智等^[2-3]采用 TalyScan 150 型表面粗糙度测试仪研究了 C/C 复合材料切削表面粗糙度的二维与三维评定方法及其影响因素, 认为对于 C/C 一类的复合材料需选用三维评定参数才

能准确表达其切削表面粗糙度的真实特征。王金明^[4]等利用 TalyScan 150 型表面粗糙度测试仪对复合材料切削试样表面进行研究, 得到了适用于复合材料切削表面粗糙度的测试手段及评定参数。全燕鸣^[5]等研究发现复合材料的加工表面包含大量的加工所致缺陷, 认为增强体的特性和取向分布、刀具条件是决定复合材料已加工表面形貌的主要因素。此外, 张伟^[6]、戈晓岚^[7]等借助于扫描电子显微镜分别对碳纤维复合材料、SiCp/Cu 复合材料切削表面结构进行了微观观察和分析。在表面粗糙度三维评定技术基础研究方面, 国内外学者已开展了大量的工作^[8-12], 有关表面粗糙度三维评定的国际标准也于 2010 年正式发布^[13]。

本研究对压装 PBX 车削表面微观结构形貌进行三维测量, 分别采用三维评定参数和二维评定参数对表面粗糙度进行研究, 分析了两者的差异及其原因, 并研究了切削条件对表面粗糙度的影响。研究结果对炸药切削表面粗糙度评定方法的建立具有重要参考意义。

2 试验条件与参数

2.1 试件制备

材料为压装 PBX (模拟材料), 通过钢模压制成型, 尺寸为 $\Phi 40$ mm \times 13 mm。刀具参数: R0.2 mm 菱形车刀, 刀片牌号为 CCGX060202-AL, 主偏角 $Kr = 95^\circ$ 。R5 mm 圆弧车刀, 刀片牌号为 RCGX0803M0-AL。加工条件: 干切削, 采用不同切削参数车削试件端面。

收稿日期: 2012-02-07; 修回日期: 2012-05-22

基金项目: 化工材料研究所所长基金项目 (626010939); 中国工程物理研究院基金项目 (2009A0203010)

作者简介: 张丘 (1978-), 女, 助理研究员, 从事炸药机械制造工艺技术研究工作。e-mail: zhangqiu_cn@163.com

2.2 测试仪器与参数

表面三维测量仪器为 NANOVEA PS50 光学轮廓仪。测试方法及精度: 白光轴向色差原理, 非接触式测量。采用 $400\ \mu\text{m}$ 的 Z 向景深量程, X/Y 向分辨率 $0.1\ \mu\text{m}$, Z 向垂直分辨率 $5\ \text{nm}$, Z 向精度 $60\ \text{nm}$ 。试件端面 X/Y 采样面积 $3\ \text{mm} \times 4\ \text{mm}$, 采样间距 $10\ \mu\text{m}$ 。

3 试验结果与分析

3.1 试件表面形貌与粗糙度评价参数

试件表面的三维结构形貌如图 1 所示。由图 1 可见, 炸药材料切削表面结构主要由刀痕轨迹、波峰微小崩落和随机分布的尺寸稍大的表面坑窝等构成。

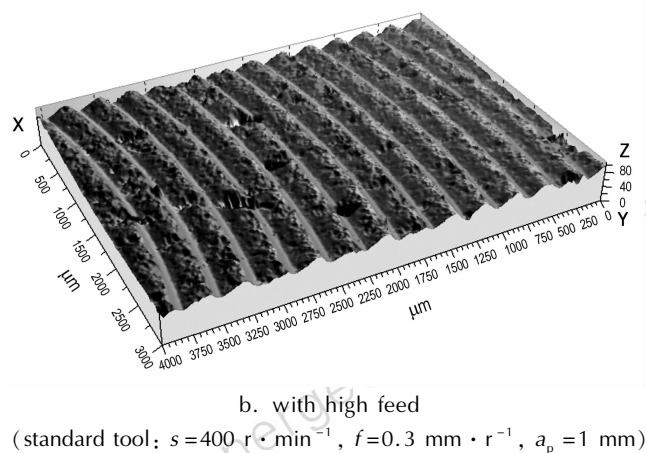
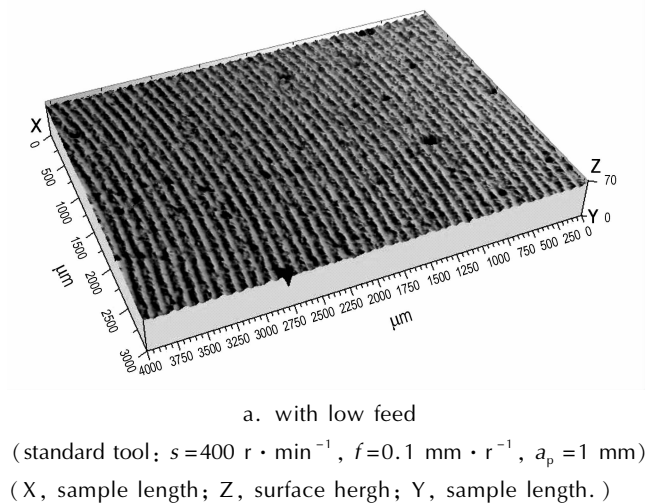


图 1 菱形刀下试件表面结构形貌

Fig. 1 Surface structure and appearance of some specimen with standard rhombic tool

根据 ISO25178 - 2010^[13], 表面粗糙度三维评定参数表面算术平均偏差计算如(1)式:

$$S_a = \frac{1}{mn} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n |z(x_j, y_i)| \quad (1)$$

根据 ISO4287 - 1997^[14], 表面粗糙度二维评定参数轮廓算术平均偏差计算如(2)式:

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |z(y_i)| \quad (2)$$

3.2 S_a 与 R_a 对比

采用 $R0.2\ \text{mm}$ 菱形车刀分别在切深(a_p) $1\ \text{mm}$ 、进给量(f) $0.1\ \text{mm} \cdot \text{r}^{-1}$ 、主轴转速(s) $60 \sim 400\ \text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 范围内变化和 $a_p=1\ \text{mm}$, $s=400\ \text{r} \cdot \text{min}^{-1}$, $f=0.1 \sim 0.5\ \text{mm} \cdot \text{r}^{-1}$ 范围内变化的条件下进行车削, 测试所得表面粗糙度结果见表 1。采用(3)式计算相对误差:

$$\text{相对误差} = \frac{S_a - R_a}{S_a} \quad (3)$$

表 1 菱形车刀在不同切削参数下的表面粗糙度

Table 1 Surface roughness under different cutting conditions using standard rhombic tool

$s/\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	$f/\text{mm} \cdot \text{r}^{-1}$	$S_a/\mu\text{m}$	$R_a/\mu\text{m}$	relative error/%
400		1.59	1.21	23.9
300		1.56	1.27	18.6
200	0.1	1.26	1.07	15.1
100		1.34	1.03	23.1
60		1.71	1.29	24.6
	0.1	1.83	1.35	26.2
	0.2	3.98	4.03	-1.3
400	0.3	6.81	6.15	9.7
	0.4	10.26	8.13	20.7
	0.5	13.17	11.24	14.6

Note: s is spindle speed, f is feed rate, S_a is 3D surface roughness, R_a is 2D surface roughness, a_p is depth of cut.

由表 1 可见, 试件切削表面 S_a 与 R_a 的相对误差最大为 26.2%, 最小为 -1.3%。在进给量为 $0.1\ \text{mm} \cdot \text{r}^{-1}$, 表面粗糙度相对较小的情况下, 相对误差整体偏大, 平均为 21.9%。当进给量增大, 表面粗糙度较大时, 相对误差整体而言有减小的趋势。

从(1)式和(2)式可以看出, S_a 在采样区域内计算了较多的点, 类似于多个 R_a 的平均值。对于本试验, 采样区域 $3\ \text{mm} \times 4\ \text{mm}$, 采样间距 $10\ \mu\text{m}$, 则 S_a 计算点数为 301×401 个; R_a 只是取其中一条轮廓计算, 计算点数为 401 个。因此, S_a 比 R_a 反映表面结构形貌的信息更全面和准确。同时, 由于炸药切削表面存在崩落、坑窝等特殊的表面微观形貌特征, 而这些又都是分布在表面的一些局部、随机的信息, 通过一条或几条二维轮廓很难合理表达。而且随机分布的表面坑窝对二维参数 R_a 的干扰非常大, 导致不通过坑窝的轮廓与包含坑窝的轮廓的 R_a 将会差别很大。而三维参

数 S_a 取点于整个区域,更全面地反映了炸药材料表面微观形貌的特征。尤其是在表面粗糙度较小时,表面崩落、坑窝等特殊形貌特征的影响就会相对增大,二维参数 R_a 与三维参数 S_a 的相对误差就比较明显。总的来说,由于 R_a 对炸药表面坑窝、崩落等微观缺陷的抗干扰性较差,而 S_a 比 R_a 反映的信息更全面和准确,抗干扰性好,因此三维参数 S_a 更适合于描述和评价炸药切削表面的粗糙度特征。

3.3 表面粗糙度的影响因素

3.3.1 刀具的影响

分别采用炸药加工常用的 R0.2 mm 菱形车刀和 R5 mm 圆形车刀在 $a_p = 1 \text{ mm}$ 、 $S = 400 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 、 $f = 0.1$ 、 0.2 、 $0.3 \text{ mm} \cdot \text{r}^{-1}$ 的条件下车削试件端面,测试得到的 S_a 结果见表 2。可见,在同样的切削用量下,圆形刀比菱形刀车削的表面粗糙度小得多,圆形刀进给量 $0.3 \text{ mm} \cdot \text{r}^{-1}$ 与菱形车刀进给量 $0.1 \text{ mm} \cdot \text{r}^{-1}$ 的表面粗糙度接近。

根据加工表面理论粗糙度的计算公式^[15],在进给量相同的条件下,刀具主偏角、副偏角越小,加工表面的理论粗糙度越小。对于圆形刀而言,相当于主、副偏角基本接近于零,因此比菱形尖刀有强得多的“修光”作用。

表 2 刀具对表面粗糙度的影响

Table 2 Influence of tool types on surface roughness

tool type	$S_a / \mu\text{m}$		
	$f = 0.1 \text{ mm} \cdot \text{r}^{-1}$	$f = 0.2 \text{ mm} \cdot \text{r}^{-1}$	$f = 0.3 \text{ mm} \cdot \text{r}^{-1}$
R0.2 mm standard tool	1.83	3.98	6.81
R5 mm button tool	0.73	1.14	1.31

3.3.2 切削参数的影响

R0.2 mm 菱形车刀在 $a_p = 1 \text{ mm}$ 、 $S = 400 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 条件下采用不同进给量车削的表面粗糙度 S_a 见表 1 和图 2。可见当进给量从 $0.1 \text{ mm} \cdot \text{r}^{-1}$ 增加到 $0.5 \text{ mm} \cdot \text{r}^{-1}$ 的过程中,表面粗糙度随进给量增大呈线性递增,最大值与最小值相差 $11.34 \mu\text{m}$ 。这与进给量对普通金属材料的影响类似。虽然由于炸药材料的特性,普通金属材料切削的残留高度公式对炸药材料已不适用,但分析图 1 可知,炸药的切削在很大程度上仍然是刀片形状和切削进给的反映,因此在同样的刀具条件下,进给量对表面粗糙度的影响比较明显。

R0.2 mm 菱形车刀在 $a_p = 1 \text{ mm}$ 、 $f = 0.1 \text{ mm} \cdot \text{r}^{-1}$ 的条件下采用不同转速车削的表面粗糙度 S_a 见表 1 和图 3。可见当转速从 $400 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 降低到

$60 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 的过程中,表面粗糙度最大值与最小值相差 $0.45 \mu\text{m}$,因此转速或切削速度对表面粗糙度的影响不明显。在不考虑测量不确定度的条件下,分析图 3 可认为转速对表面粗糙度的影响可能存在一个最佳值。当转速由较高开始下降时,切削温度下降将减轻高温下炸药材料中粘结剂的软化效应,增加粘结剂与炸药材料的界面强度,从而可以降低颗粒拔出形成的坑窝效应。但如果转速太低,切削温度低而且作用在材料上的冲击载荷速率太低,将导致炸药材料更多的脆性崩落甚至崩块,从而造成表面粗糙度明显上升。

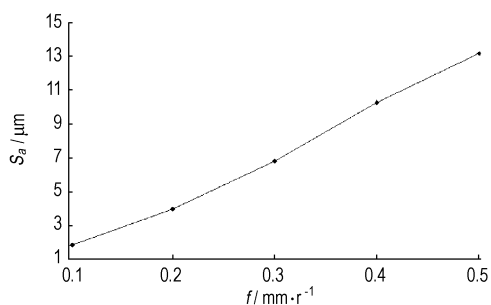


图 2 进给量对表面粗糙度的影响

Fig. 2 Influence of feed on surface roughness

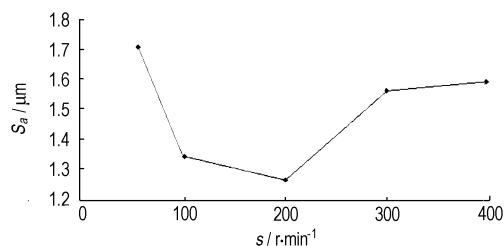


图 3 转速对表面粗糙度的影响

Fig. 3 Influence of spindle speed on surface roughness

4 结论

(1) 压装 PBX 车削表面微观结构形貌主要由规律分布的刀痕轨迹、波峰微小崩落和随机分布的表面坑窝等构成。这是由 PBX 炸药材料特性所决定的。

(2) 压装 PBX 车削表面粗糙度的二维评定与三维评定参数之间有较大误差,尤其是表面粗糙度较小时相对误差更突出。分析认为,三维评定参数与评价方法更适合于评定炸药材料的表面结构特征。

(3) 在相同切削用量下,圆形刀比菱形刀车削的表面粗糙度小一倍以上,圆形刀 $0.3 \text{ mm} \cdot \text{r}^{-1}$ 进给量与菱形刀 $0.3 \text{ mm} \cdot \text{r}^{-1}$ 进给量相当,因此在满足相同表面质量时采用圆形刀可以提高进给量从而提高加工效率。

(4) 在相同刀具条件下, 进给量是影响炸药车削表面粗糙度的主要因素, 随进给量增大表面粗糙度将呈线性增加的趋势。转速或切削速度对表面粗糙度影响不明显, 但转速太低时将导致表面粗糙度增加。

致谢:感谢化工材料研究所精密制造技术研究室武俊彪、周琪为试件加工所做的工作。感谢第四军医大学口腔材料室实验室提供的测试仪器及相关测试服务。

参考文献:

- [1] 张丘, 黄交虎, 尹锐, 等. PBX 切削表面的微观形貌与形成机理[J]. 兵工学报, 2010, 31(10): 1337-1340.
ZHANG Qiu, HUANG Jiao-hu, YIN Rui, et al. Micro-appearance and formation mechanisms of PBX cutting surface[J]. *Acta Armamentarii*, 2010, 31(10): 1337-1340.
- [2] 赵福令, 艾传智, 杨东军, 等. 碳/碳复合材料切削表面粗糙度的评定方法及评定参数研究[J]. 计量学报, 2006, 27(3): 206-211.
ZHAO Fu-ling, AI Chuan-zhi, YANG Dong-jun, et al. Study on the evaluation method and evaluation parameters of cutting surface roughness of carbon/carbon composite[J]. *Acta Metrologica Sinica*, 2010, 31(10): 1337-1340.
- [3] 艾传智, 杨东军, 赵福令, 等. C/C 复合材料切削表面粗糙度的测量评定与影响因素研究[J]. 航空精密制造技术, 2005, 41(6): 31-34.
AI Chuan-zhi, YANG Dong-jun, ZHAO Fu-ling, et al. Study on measurement & evaluation of cutting surface roughness of C/C composite and the influential factors[J]. *Aviation Precision Manufacturing Technology*, 2005, 41(6): 31-34.
- [4] 王金明, 杨志翔. 复合材料切削表面粗糙度测试方法的研究[J]. 宇航材料工艺, 2004(4): 59-62.
WANG Jin-ming, YANG Zhi-xiang. Study of roughness measurement on cutting surface of composites[J]. *Astro Material and Process*, 2004(4): 59-62.
- [5] 全燕鸣, 叶邦彦. 复合材料的切削加工表面结构与表面粗糙度[J]. 复合材料学报, 2001, 18(4): 128-132.
QUAN Yan-ming, YE Bang-yan. Machined surface texture and roughness of composites[J]. *Acta Materiae Compositae Sinica*, 2001, 18(4): 128-132.
- [6] 张伟, 艾启兰, 刁锐, 等. 碳纤维复合材料切削后表面微观分析[J]. 大连轻工业学院学报, 1999, 18(3): 242-246.
ZHANG Wei, AI Qi-lan, DIAO Rui, et al. Microanalysis for the cutting surface of the carbon fibre reinforced composite material[J]. *Journal of Dalian Polytechnic University*, 1999, 18(3): 242-246.
- [7] 戈晓岚, 姜左, 许晓静, 等. SiCp/Cu 复合材料切削加工性及其加工表面微观结构研究[J]. 中国机械工程, 2006, 17(9): 965-968.
GE Xiao-lan, JIANG Zuo, XU Xiao-jing, et al. Research on the SiCp/Cu composite material's cutting performance and machined surface texture[J]. *China Mechanical Engineering*, 1999, 18(3): 242-246.
- [8] 曾文涵, 高咏生, 谢铁邦. 三维表面粗糙度高斯滤波快速算法[J]. 计量学报, 2003, 24(1): 10-13.
ZENG Wen-han, GAO Yong-sheng, XIE Tie-bang, et al. A fast Gauss filtering algorithm for 3D surface roughness[J]. *Acta Metrologica Sinica*, 2003, 24(1): 10-13.
- [9] 杨培中, 宋平. 分形插值曲面与表面粗糙度的三维评定[J]. 机械工艺师, 2000, 16(10): 37-38.
YANG Pei-zhong, SONG Ping. Fractal interpolation and 3D evaluation of surface roughness[J]. *Mechanical Technologist*, 2000, 16(10): 37-38.
- [10] 杨培中, 蒋寿伟. 表面粗糙度三维评定的研究[J]. 机械设计与研究, 2002, 18(2): 63-67.
YANG Pei-zhong, JIANG Shou-wei. Research on 3D evaluation of surface roughness[J]. *Machine Design and Research*, 2002, 18(2): 63-67.
- [11] Tholath J, Radhakrishnan, V. Three-dimensional fitting of engineering surface using a least squares non-parametric B-spline surface[C]//Proc. Instn. Mech. Engrs. 1997, 211(Part B). 557-564.
- [12] Dong W P, Sullivan P J, Stout K J. Comprehensive study of parameters for characterization 3D surface topography[J]. *Wear*, 1994, 178(1): 29-43.
- [13] ISO 25178; 2010 Geometrical product specifications (GPS)-surface texture: areal[S].
- [14] GB/T 3505; 2009 (ISO 4287; 1997) 产品几何技术规范 表面结构 轮廓法 术语、定义及表面结构参数[S].
- [15] 周泽华. 金属切削原理[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1984: 121-122.

Evaluation of Cutting Surface Roughness of PBX Explosive and Its Influence Factors

ZHANG Qiu, LIU Wei, TANG Xian-jin

(Institute of Chemical Materials, CAEP, Mianyang 621900, China)

Abstract: The surface micro-structure of an explosive part affects its performance, measured precision of the part, and reliability of the weapon parts. The 3D surface micro-structure of the pressed PBX lathed surfaces was detected. The 3D and 2D surface roughness parameters were evaluated and analyzed. The results show that 3D surface roughness parameter is suitable for evaluating PBX machined surface with random distribution cavities and pits defects. The 3D surface roughness parameter evaluation is better than that of 2D surface roughness parameter. Under the same evaluating parameters, PBX 3D surface roughness using round tool is much less than that using standard tool. The feed affects surface roughness greatly, while the spindle speed affects surface very little.

Key words: special working technology; PBX explosive; lathe machining; surface roughness; 3D measurement and evaluation

CLC number: TJ55; TH161⁺.14

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2012.06.025