

文章编号: 1006-9941(2013)05-0693-03

RDX 单晶的精密加工

周小清, 李洪珍, 刘佳辉, 张 祺, 徐 容, 杨宗伟, 蓝林钢

(中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900)

1 引 言

炸药材料力学行为、起爆机理及其他物理性能的认识难于深入下去的主要原因之一是: 缺乏具有完美晶体品质的炸药大单晶材料及其精密加工方法。黑索今(RDX)是比较容易生长出大单晶单质炸药之一^[1-4], 迄今, 国内外学者对炸药单晶的力学性能研究主要局限于其 2~3 个较大生长面的弹性模量、断裂韧性等的初步研究, 取得了一些创新性研究成果^[5-6], 但由于单晶晶体质量和测试方法的差异, 各学者的测试结果还存在偏差^[7-9], 不能全面反映炸药晶体的力学特性。采用轻气炮冲击加载研究炸药单晶的起爆机理和纳米压痕技术测试单晶的微力学性能等对单晶的表面粗糙度、平面度、平行度、亚表面损伤程度等均有非常高的要求, 而且单晶的力学、起爆等性能与晶面取向有关^[10-12]。要进行单晶的力学、起爆性能的深入细致的研究, 需要对单晶进行切割、打磨和抛光等精密机械加工, 因此, 探索和研究 RDX 单晶的精密加工方法, 减少或消除表面损伤对性能研究的影响十分重要。

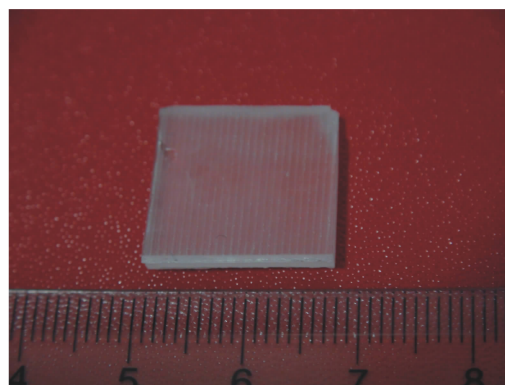
本研究选用在丙酮溶剂中通过蒸发法生长的 RDX 大单晶, 研究其切割, 打磨和抛光等精密加工方法。

2 实验部分

2.1 切割

RDX 晶体质软、脆性高, 对温度、摩擦等刺激特别敏感, 在切割工过程中容易开裂, 故本研究采用低速($0.8 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$)金刚石线切割机, 水作为冷却介质

进行切割。由于速度低, 切割过程不会带来机械应力和局部的温度梯度, 不会造成晶体的炸裂或解理, 也不会因残余应力而破坏其光学均匀性。加工后晶体表面留有微小尺度波纹(如图 1 所示), 其表面和亚表面受到一定程度的损伤。



a. the surface morphology of RDX single crystal



b. the surface morphology of RDX single crystal (50 ×)

图 1 切割后的 RDX 单晶形貌

Fig. 1 The surface morphologies of RDX single crystal after cutting

2.2 研磨

研磨对于晶体成型、缩短抛光时间、提高所加工晶体的质量都非常重要。本研究选用 UNIPOL-802 型精密研磨机器、有机玻璃研磨盘, 刚玉粉($14 \mu\text{m}$)磨

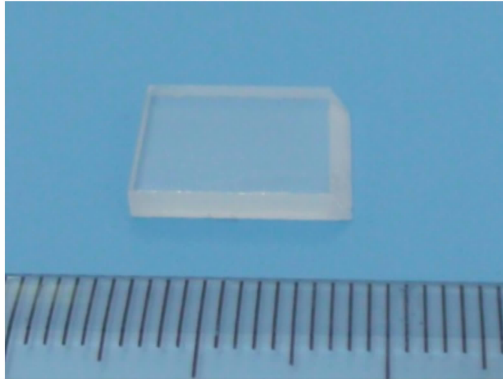
收稿日期: 2013-04-18; 修回日期: 2013-05-06

基金项目: 国家自然科学基金(11072225)和中国工程物理研究院发展基金(2011B0201032)

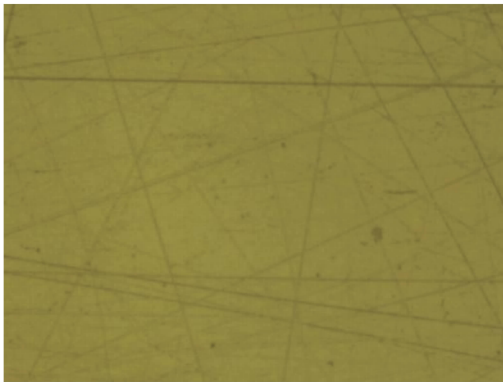
作者简介: 周小清(1977-), 女, 助研, 主要从事新型含能材料合成及结晶研究。e-mail: zhqx_a@163.com

通讯联系人: 李洪珍(1971-), 女, 研究员, 主要从事含能材料的合成及结晶研究。e-mail: happyhongzhen@163.com

料进行研磨,用清水冲洗加工面并观察晶体表面,其表面粗糙程度均匀且已与磨粒的尺寸相当,便可换用更细的刚玉粉(7 μm)进行研磨。研磨后晶体表面形貌如图 2 所示,从图 2 中可以看到,晶体表面比较光滑,已无肉眼所见的切割留下的小尺度波纹,但在光学显微镜下观察,其表面仍布满划痕。



a. the surface morphology of RDX single crystal



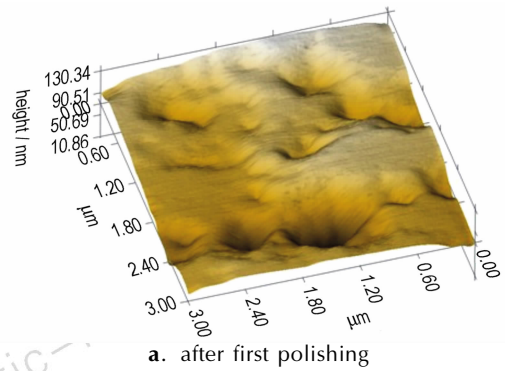
b. the surface morphology of RDX single crystal (200 \times)

图 2 研磨后的 RDX 单晶形貌

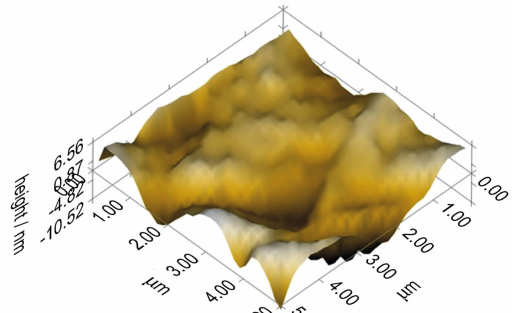
Fig.2 The surface morphologies of RDX single crystal after grinding

2.3 抛光

抛光是一个循序渐进的过程,在晶体抛光的不同阶段,晶体表面的粗糙度会发生变化,则需改变和选取相应颗粒度和硬度的抛光粉进一步抛光。本研究首先选用氧化铈微粉(0.75 μm)进行初抛,目测晶体加工面平滑,在反光性、透光性都比较好且整个加工面无明显划痕时,便可进行精抛,采用纳米级氧化硅粉(50 nm)进行精抛。初抛和精抛后的三维表面轮廓图如图 3 所示。由图 3 可以看出,初抛后 RDX 单晶的表面高度约 140 nm,而精抛后 RDX 单晶的表面高度约 17 nm。研究了精抛时间、抛光液浓度、抛光盘转速、抛光液流量、抛光液温度等参数对抛光效果的影响确



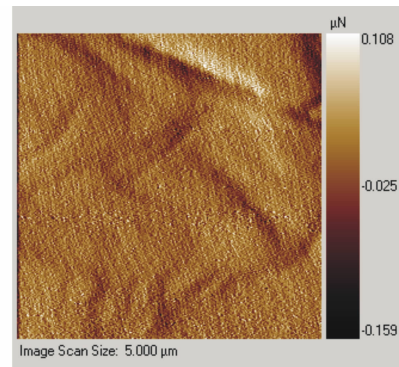
a. after first polishing



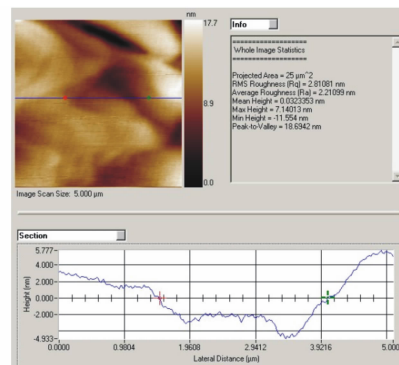
b. after precise polishing

图 3 抛光后 RDX 单晶的三维表面轮廓图

Fig.3 The 3D images of RDX single crystal after polishing



a. the height variation



b. the force variation

图 4 精抛后 RDX 单晶的扫描探针显微镜(SPM)

Fig.4 The scanning probe microscopy (SPM) photographs of RDX single crystal after precise polishing

定最佳抛光加工参数: 抛光盘转速 $120 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$, 抛光液流量 $10 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$, 抛光液温度 $22 \text{ }^\circ\text{C}$, 环境湿度 45% 。精抛后晶体表面形貌如图 4 所示, 从图 4 中可以看到, 晶体表面无划痕, 最终的均方根 (rms) 粗糙度为 2.8108 nm 。

3 结 论

对 RDX 单晶进行精密加工研究, 获得了均方根粗糙度小于 5 nm 的单晶片, 确定了适合 RDX 单晶体抛光的抛光粉为氧化铈微粉及纳米级氧化硅粉 (50 nm), 最佳精抛光加工参数: 抛光盘转速 $120 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$, 抛光液流量 $10 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$, 抛光液温度 $22 \text{ }^\circ\text{C}$, 环境湿度 45% 。在这些抛光参数下得到的单晶片用于力学和起爆性能试验, 可得到更为可靠的性能特征参数, 用于炸药安全性的预测和研究。同时, 该研究成果可为今后进一步开展其它炸药单晶材料的高效低损伤表面精密抛光提供指导或借鉴作用。

参考文献:

- [1] Halfpenny P J, Roberts K J, Sherwood J N. Dislocation in energetic materials IV. The crystal growth and perfection of cyclotrimethylene trinitramine (RDX) [J]. *J Cryst Growth*, 1984, 69: 73–81.
- [2] Halfpenny P J, Roberts K J, Sherwood J N. Dislocation configurations in single crystals of Pentaerythritol Tetranitrate and Cyclotrimethylene trinitramine [J]. *J Cryst Growth*, 1983, 65: 524–529.
- [3] ter Horst J H, Geertman R M, van der Heijden A E, et al. The influence of a solvent on the crystal morphology of RDX [J]. *Journal of Crystal Growth*, 1999(198/199): 773–779.
- [4] 李洪珍, 周小清, 徐容, 等. RDX 单晶的生长及加工 [J]. 含能材料, 2011, 19(6): 745–746.
- [5] Li Hong-zhen, ZHOU Xiao-qing, XU Rong, et al. Growth and machining of RDX single crystal [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2011, 19(6): 745–746.
- [6] Haycraft J J, Stevens L L, Eckhardt C. J The elastic constants and related properties of the energetic material cyclotrimethylene trinitramine (RDX) determined by Brillouin scattering [J]. *J Chem Phys*, 2006, 124: 024712.
- [7] Ramos K J, Hooks D E, Bahr D F. Direct observation of plasticity and quantitative hardness measurements in single crystal cyclotrimethylene trinitramine by nanoindentation [J]. *Phil Mag*, 2009, 89(27): 2381–2402.
- [8] Halfpenny P J, Roberts K J, Sherwood J N. Dislocations in energetic materials Part 3 Etching and microhardness studies of pentaerythritol tetranitrate and cyclotrimethylenetrinitramine [J]. *J Mater Sci*, 1984, 19: 1629–1637.
- [9] Elban W L, Armstrong R W, Yoo K C, et al. X-ray reflection topographic study of growth defect and microindentation strain fields in an RDX explosive crystal [J]. *J Mater Sci*, 1989, 24: 1273–1280.
- [10] Gallagher H G, Halfpenny P J, Miller J C, et al. Dislocation slip systems in pentaerythritol tetranitrate (PETN) and cyclotrimethylene trinitramine (RDX) [J]. *Phil Trans R Soc Lond A*, 1992, 339(1654): 293–303.
- [11] Ramos K J, Hooks D E, Sewell T D, et al. Anomalous hardening under shock compression in (021)-oriented cyclotrimethylene trinitramine single crystals [J]. *J Appl Phys*, 2010, 108: 066105.
- [12] Cawkwell M J, Ramos K J, Hooks D E, et al. Homogeneous dislocation nucleation in cyclotrimethylene trinitramine under shock loading [J]. *J Appl Phys*, 2010, 107: 063512.
- [13] Hooks D E, Ramos K J, Martine A R. Elastic-plastic shock wave profiles in oriented single crystals of cyclotrimethylene trinitramine (RDX) at 2.25 GPa [J]. *J Appl Phys*, 2006, 100: 024908.

关键词: 固体力学; 炸药单晶; RDX; 抛光
中图分类号: TJ55; O34 文献标识码: A
DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2013.05.028