

文章编号:1006-9941(2006)01-0053-03

采用超声波特性参量研究 PBX 炸药的热处理

田勇^{1,2}, 张伟斌¹, 李敬明¹, 刘石², 杨占锋¹

(1. 中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900;

2. 中国科学院工程热物理研究所, 北京 100080)

摘要: 对压制成型 $\Phi 20$ mm \times 10 mm 高聚物粘结炸药 PBX-03 试样进行了 50 °C 条件下累积 9 天的热处理试验, 采用超声波特性参量检测了热处理试样, 获得了 PBX-03 试样热处理作用及机理的新认识: PBX-03 试样的超声波增益和声速值在热处理过程中均呈现出趋同的特征; 适当的热处理有助于改善 PBX-03 压制件内部质量的一致性; PBX-03 中 TATB 的不可逆长大可能是前述结果的主要致因。

关键词: 物理化学; 高聚物粘结炸药; 热处理; 超声波特性参量

中图分类号: TJ55

文献标识码: A

1 引言

高聚物粘结炸药 (Polymer Bonded Explosive, PBX) 压制成型后一般都需要进行热处理, 目的是消除压制件内部的残余应力和弹性后效现象, 改善其环境适应性和理化稳定性。

超声波特性参量检测方法在国内外被广泛用于金属、复合材料、陶瓷等材料的性能表征, 从不同角度来看, 弹性模量、材料显微结构、形态以及相应的机械性能都能用超声学来表征^[1-3]。近几年笔者采用超声波特性参量方法较系统地检测研究了 PBX-03 试样的热冲击损伤和机械损伤^[4,5], 俄罗斯 E. N. Kostyukov 等人^[6]也采用超声波声速研究了循环热冲击、机械载荷以及冲击波加载对一种 HMX 基 PBX 的影响。在研究热冲击损伤过程中, 笔者尝试采用超声波特性参量法对 PBX-03 试样热处理进行了检测, 结果表明在技术上超声波特性参量法研究 PBX 热处理具有可行性^[7]。

PBX-03 是一种比较典型的以 HMX 为基的 PBX, 其组分及配比 (重量%) 为: HMX : TATB : 粘结剂和其它助剂 = 87 : 7 : 6^[8]。PBX-03 热压成型后一般在 50 °C 温度条件下进行数天热处理。

本实验较为细致地研究了 PBX-03 试样在热处理过程中超声波特性参量-增益和声速的变化, 并对 PBX-03 热处理的效果及其作用机理进行了讨论分析。

2 试验

2.1 试样

$\Phi 20$ mm \times 10 mm PBX-03 试样由小压机按正常工艺状态直接压制而成, 初始密度 $1.8530 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 数量 10 发。

2.2 试验程序

在 50 °C 条件下, 对 10 发 PBX-03 试样分 5 次进行累计 216 h 的热处理, 5 次累计热处理时间分别为 24, 72, 120, 168, 216 h, 每次热处理后分别进行密度、超声波增益及声速检测, 检测在每次热处理结束 1 天后进行。

2.3 超声波特性参量检测^[4-7]

单探头纵波脉冲反射法; CTS-36 型数字式超声波检测仪, 增益值上限为 84 dB; 探头频率 2.5 MHz, 晶片尺寸 $\Phi 20$ mm; 耦合剂为蒸馏水; 耦合面 (即检测面) 为试样端面; 检测参量为增益和声速。

检测一致性对试验的成败十分关键, 采取的措施包括: 仪器参数设置一致、采用标准件进行校准、采用压块保持稳定耦合、保持实验室温度等。

3 试验结果与讨论

3.1 密度

10 发 PBX-03 试样的密度均值随着热处理累计时间增加呈现出减幅迅速降低的变化特点。第一天的均值从 $1.8530 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 降至 $1.8457 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 第三天的均值降至 $1.8437 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 第九天的均值降到 $1.8425 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

3.2 超声波增益和声速

10 发 PBX-03 试样热处理后的超声波增益和声速检

收稿日期: 2005-09-09; 修回日期: 2005-10-28

基金项目: 中国工程物理研究院基金 (20030105) 和中国工程物理研究院重大基金 (2005Z0504)

作者简介: 田勇 (1967 -), 男, 副研, 主要从事含能材料无损检测与可靠性研究。

测结果见表1。10发试样各自的超声波增益值和声速值及10发试样超声波增益和声速均值的变化情况如图1和图2所示。

表1 10发PBX-03试样热处理超声波特性参量检测数据
Table 1 Ultrasonic characteristic values of PBX-03 during heat treatment

accumulated thermal processing time		0 h	24 h	72 h	120 h	168 h	216 h
gain value /dB	average	18.5	18.7	18.7	18.3	18.4	17.8
	standard deviation	4.1	1.9	2.2	1.8	2.1	2.0
	range	13.5	6.8	7.3	6.5	6.6	5.3
sonic velocity /m · s ⁻¹	average	2601	2577	2584	2595	2594	2600
	standard deviation	51	31	38	38	37	36
	range	112	94	103	94	105	101

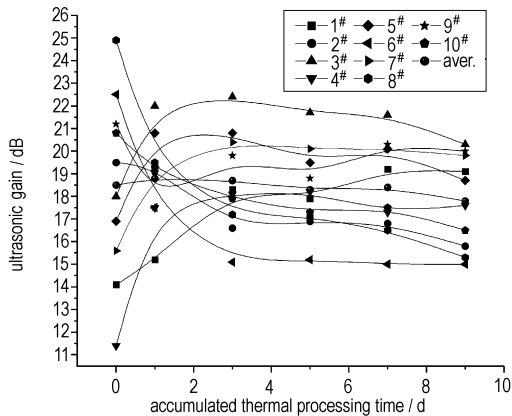


图1 PBX-03试样热处理超声波增益变化趋势

Fig.1 Variation tendency of ultrasonic gain values for PBX-03 during heat treatment

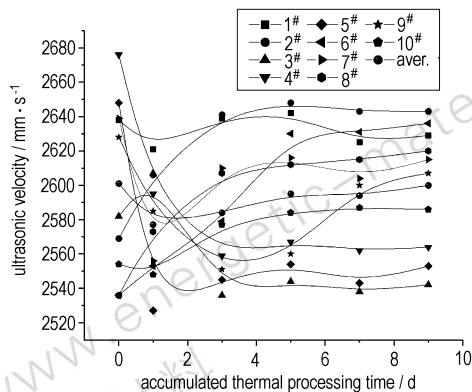


图2 PBX-03试样热处理超声波声速变化趋势

Fig.2 Variation tendency of ultrasonic velocity values for PBX-03 during heat treatment

根据表1、图1和图2,对PBX-03试样在热处理过程中超声波增益和声速值的变化特点归纳如下:

(1) 10发试样的超声波增益和声速值随着累计热处理时间的增加几乎均表现为变化幅度迅速减小并趋于稳定的变化趋势:第一天热处理后的变化幅度大大高于随后热处理的变化幅度,同时5~7天后基本趋于稳定。这一点与密度的变化趋势相似。

(2) 10发PBX-03试样中,初始增益值较小的试样在热处理过程中多表现为增益值在前期(热处理1~3天)迅速增大后逐渐趋于稳定,而初始增益值较大的试样在热处理过程中多表现为增益值在前期迅速减小后逐渐趋于稳定;同时,初始声速值较小的试样在热处理过程中多表现为声速值在前期(热处理1~3天)迅速增大后逐渐趋于稳定,而初始声速值较大的试样在热处理过程中多表现为声速值在前期迅速减小后逐渐趋于稳定。

(3) 试样的超声波增益值和声速值之间表现出大小及升降配合的变化关系,即通常试样的初始增益值相对大时,其声速初始值相对小,而经热处理后,则趋向于增益值减小、声速值升高(即大变小、小变大),反之亦然。

(4) 10发试样超声波增益值的标准差和极差在第一天热处理后明显减小,随后基本保持稳定;声速值标准差和极差的变化情况总体与增益值的情况相似,只是明显程度较弱。

(5) 在9d热处理历程中,10发试样的超声波增益均值和声速均值都没有表现出显著的变化,总体上较为稳定。

基于材料试样的超声波增益和声速与材料试样内部质量之间的紧密关联^[2,3],依据上述PBX-03热处理过程超声波特性参量的变化特点,可以获得如下新认识:

(1) 热处理使PBX-03试样的超声波特性参量变得稳定,反映出热处理可使PBX-03试样的内部质量变得稳定。

(2) 热处理使PBX-03试样的超声波特性参量趋于一致,反映出热处理有助于改善PBX-03试样内部质量的一致性。

对其中的热处理作用机制,本文尝试从PBX-03组成的角度进行分析讨论,特别是PBX-03组成中的具有不可逆长大特性的TATB。

根据超声波检测原理,对于初始增益值较大、声速值较小的试样,其内部和界面上通常存在较多的微空洞、缝隙和裂纹等缺陷^[2,3]。在50℃热处理过程中,一方面由于材料中玻璃化温度较低(30℃左右)的粘

结剂以及少量低熔点助剂变成粘弹态甚至流态,使得材料各组分之间特别是粘结剂与炸药晶体之间原本不太好的界面状态得到改善;另一方面由于其中 TATB 的不可逆长大,使得邻近的缺陷受到挤压并在热处理温度下得到弥合。尽管同时存在密度降低(包括 TATB 不可逆长大的贡献)引起超声波增益值增加和声速值减小的因素,但前述两方面的共同作用更显著,仍然使试样呈现出增益值减小、声速值升高的趋势。

而对于初始增益值较小、声速值较大的试样,则其内部和界面上存在的微空洞、缝隙和裂纹等缺陷相对较少。在 50 °C 热处理过程中,虽然同样存在前述两方面的作用,但由于原本内部和界面状态就比较好,因此改善的程度较小;而与此同时 TATB 不可逆长大及与周围相对密实空间竞争的结果,可能使得邻近原本完好的界面受到挤压甚至 TATB 晶体发生层间滑移而产生出新的缺陷,加之密度降低引起增益值增大、声速值减小的因素,试样表现为增益值增大、声速值降低。

4 结 论

(1) PBX-03 试样的超声波增益值和声速值在热处理过程中均呈现趋同的特征。

(2) 适当的热处理有助于改善 PBX-03 压制件内部质量的一致性。

(3) PBX-03 中 TATB 的不可逆长大可能是前述结果的主要致因。

致谢: 本工作得到中国工程物理研究院化工材料研究所三室、六室有关同志的帮助,在此表示感谢!

参考文献:

- [1] 张俊哲. 无损检测技术及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
ZHANG Jun-zhe. NDT Techniques and their Applications [M]. Beijing: Science Press, 1993.

- [2] 美国无损检测手册. 译审委员会译. 美国无损检测手册(超声卷)(上). 上海: 世界图书出版公司, 1996.
American NDT Handbook Translation Committee. American NDT Handbook (Vol. ultrasonic). Shanghai: World Books Publishing Company, 1996.
- [3] Ohtani T, Ogi H, Hirao M. Change of ultrasonic attenuation and microstructure evolution during creep of a stainless steel [A]. Book of Abstracts of 16th World Conference on Nondestructive Testing [C], Montreal, Canada, 2004.
- [4] 田勇, 张伟斌, 郝莹, 等. 炸药热冲击损伤破坏及超声波特性参量检测[J]. 火炸药学报, 2000(4): 13-15.
TIAN Yong, ZHANG Wei-bin, HAO Ying, et al. Ultrasonic characteristics of plastic bonded explosive JOB-9003 in thermal shock tests [J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2000(4): 13-15.
- [5] 田勇, 罗顺火, 张伟斌, 等. JOB-9003 炸药激热冲击损伤破坏及超声特征[J]. 火炸药学报, 2002(3): 17-19.
TIAN Yong, LUO Shun-huo, ZHANG Wei-bin, et al. Water-bathed thermal shock damage of PBX JOB-9003 and its ultrasonic characteristics [J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2002(3): 17-19.
- [6] Kostyukov E N, Fomicheva L V, Vlasov Y A, et al. Physical and mechanical properties of samples made of plasticized HMX after effect of mechanical loadings, temperature drops and shock waves [A]. 2004 Proceedings of Sino-Russia Seminar on New Progress in Energetic Materials [C], Mianyang, China, 2004.
- [7] 田勇, 向永, 张伟斌, 等. 高温处理对 JOB-9003 高聚物粘结炸药冲击波感度影响研究 [A]. 中国工程物理研究院科学技术基金论文集(第7卷) [C], 2003, 7: 61-65.
TIAN Yong, XIANG Yong, ZHANG Wei-bin, et al. Effect of high temperature process on shock wave sensitivity of PBX JOB-9003 [A]. Proceedings of the Science and Technology Foundation of CAEP [C], 2003, 7: 61-65.
- [8] 董海山, 周芬芬. 高能炸药及相关物性能 [M]. 北京: 科学出版社, 1989.
DONG Hai-shan, ZHOU Fen-fen. Properties of High Explosives and Relative Materials [M]. Beijing: Science Press, 1989.

Heat Treatment of Polymer Bonded Explosive by Using Ultrasonic Characterization

TIAN Yong^{1,2}, ZHANG Wei-bin¹, LI Jing-ming¹, LIU Shi², YANG Zhan-feng¹

(1. Institute of Chemical Materials, CAEP, Mianyang 621900, China;

2. Institute of Engineering Thermophysics, CAS, Beijing 100080, China)

Abstract: The heat treatment of polymer bonded explosive PBX-03 with $\Phi 20$ mm \times 10 mm was carried out at 50 °C, and was characterized by ultrasonic characteristic value. Some new information about the effect and mechanism of heat treatment on PBX-03 was obtained. The results show that the ultrasonic characteristic values of the specimens display a unified tendency during the heat treatment, and the adequate heat treatment is helpful to improve the internal quality of PBX-03, and the irreversible growth of TATB in PBX-03 is probably the main reason causing the results above.

Key words: physical chemistry; polymer bonded explosive (PBX); heat treatment; ultrasonic characterization