

文章编号: 1006-9941(2008)02-0185-03

低压热处理对 PBX 炸药件密度及内部质量的影响

兰 琼^{1,2}, 韩 超¹, 雍 炼¹, 张 明¹

(1. 中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900;

2. 中国工程物理研究院研究生部, 四川 绵阳 621900)

摘要: 高聚物粘结炸药 (PBX) 时效处理会造成炸药件尺寸长大, 密度降低, 甚至可能扩大裂纹和分层等初始缺陷。为了解决以上问题, 开展成型炸药件低压热处理研究。将炸药件放入等静压后处理机, 在恒定温度下施加 5 ~ 10 MPa 压力, 保压 2 ~ 4 h, 处理 1 ~ 3 次。实验结果表明: 采用这种后处理方法能在短时间内有效释放 PBX 炸药件内应力, 相对密度从 96.53% ~ 98.83% 提高到 99% 以上, 并能抑制长大, 改善炸药件内部质量。

关键词: 材料力学; 高聚物粘结炸药 (PBX); 内应力; 低压热处理

中图分类号: TJ55; TB301

文献标识码: A

1 引 言

高聚物粘结炸药 (polymer bonded explosive, PBX) 在成型过程中因外界压力作用, 发生不同程度弹塑性变形, 压力去除后会积蓄一定的弹性应变能, 产生内应力^[1]。内应力的释放, 可能导致炸药件密度降低、尺寸长大, 还可能产生初始缺陷。这些缺陷会影响炸药件的力学性能、爆轰性能及安全性能等^[2]。因此, 在炸药压制成型后, 必须采取一定的措施来释放内应力。

释放炸药件内应力的方法主要有两种: 时效处理及 Bartherm 处理。目前国内采用的是时效处理法, 即在烘箱中常压等温处理 PBX 炸药件 5 ~ 7 天。这种方法有助于释放内应力, 确保库存稳定性。但是仅采取热输入释放内应力的方法会导致炸药件尺寸长大, 密度降低, 还可能会扩大或增加产品缺陷。20 世纪 70 年代初, 美国劳伦斯利弗摩尔国家实验室的 Harrell^[3-4]、Johnson^[5-7] 等人开始研究 Bartherm 处理方法, 他们将 PBX 炸药件用环氧树脂包覆好后放入等静压后处理设备中低压热循环 3 ~ 7 天。这种方法能提高炸药件密度, 最高时其相对密度能达到 99.5%, 密度均匀性及力学性能也有所改善, 尺寸稳定性有所增强。然而, Bartherm 方法要求后处理设备能带压热循环, 且处理时间较长 (3 ~ 7 天), 在国内目前的技术设备条件下, 要将其运用于生产实践, 还有一定的困难, 且效率较低。

本实验利用 Bartherm 处理方法基本原理, 开展低压热处理实验, 研究其对 PBX 炸药件密度及内部质量的影响。

2 实 验

2.1 实验装置

梅特勒 PM1200 电子天平; CTS-36 型全数字超声检测仪; 等静压后处理机; DU288 电热油浴恒温箱, DZ-500/2SB 真空热合机。

2.2 样品准备

用 PBX 造型粉压制一批炸药件, 去黑皮、加工成 $\Phi 54 \text{ mm} \times 123 \text{ mm}$ 的药柱, 测量其密度、内部质量。同时, 选取两发 $\Phi 100 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$ 、一发 $\Phi 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 、一发 $\Phi 80 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ 存在内部缺陷的炸药件, 测量其密度, 检测内部质量。

2.3 实验流程

根据本实验特点, 称之为低压热处理方法。实验流程如图 1 所示。

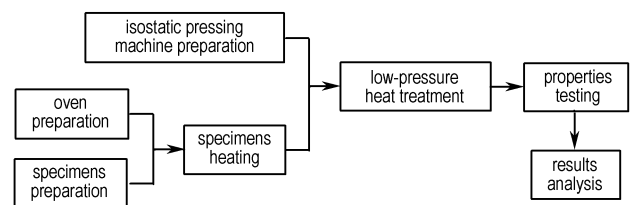


图 1 炸药件低压热处理实验流程

Fig. 1 Process chart of low-pressure heat treatment

将样品置于薄膜套中, 采用真空热合机将其抽真空塑封后放入烘箱预热, 达到预定温度恒温 30 ~ 60 min, 再放入介质油温与样品温度相同的等静压后处理机中, 合理设置压力、温度、次数等参数。压力去除后, 样品置于等静压后处理机中自然冷却至室温取出。测试样品处理后的密度、尺寸、内部质量情况, 分析实验结果。

收稿日期: 2007-08-13; 修回日期: 2007-11-27

作者简介: 兰琼 (1979 -), 女, 在读硕士研究生, 主要从事含能材料成型及相关技术研究。e-mail: lanqiong111@sohu.com

2.4 实验方法

不同材料、尺寸和质量的炸药件,预热条件(加热温度)和处理条件(压力、时间)不同,采取不同处理方法。下面通过三组实验,说明低压热处理方法作用效果及原理。

(1) 实验一 1[#]~3[#]三发样品为密度较低、存在较大分层、疏松缺陷的等静压炸药件。样品预热至 85 ℃,恒温 1 h,在 5 MPa 压力下处理 2 h,1[#]、2[#]样品处理 2 次,3[#]样品处理 3 次。处理前后样品性能变化情况见表 1。

(2) 实验二 4[#]和 5[#]样品为与实验一同批的等静

压成型炸药件,样品处理前的各项性能基本相同。两发样品预热至 75 ℃,恒温 30 min,处理条件差别在于将处理压力由 5 MPa 提高到 10 MPa,处理时间由 2 h 延长到 4 h,均处理 1 次。处理前后样品性能变化情况见表 2。

(3) 实验三 6[#]~9[#]样品为四发密度较高、存在局部分层或整体缺陷的模压成型炸药件。四发样品预热至 85 ℃,恒温 1 h,处理 2 次,第一次在 8 MPa 压力下处理 4 h,第二次在 5 MPa 压力下处理 4 h。处理前后样品性能变化情况见表 3。

表 1 低压热处理前后炸药件性能对照表(实验一)

Table 1 Properties comparison of untreated and treated specimens(experiment 1)

No.	untreated specimen					treated specimen				
	ρ_1 /g · cm ⁻³	relative density/%	d /mm	length /mm	treated number	ρ_2 /g · cm ⁻³	$\Delta\rho$ /g · cm ⁻³	relative density/%	d /mm	length /mm
1 [#]	1.809	96.53	54.00	122.90	2	1.854	0.045	98.93	53.80	121.90
2 [#]	1.809	96.53	53.90	122.90	2	1.851	0.042	98.77	53.78	121.90
3 [#]	1.809	96.53	54.00	122.90	3	1.850	0.041	98.72	53.76	121.80

Note: ρ_1 is the density of untreated specimen; ρ_2 is the density of treated specimen. $\Delta\rho = \rho_2 - \rho_1$.

表 2 低压热处理前后炸药件性能对照表(实验二)

Table 2 Properties comparison of untreated and treated specimens(experiment 2)

No.	untreated specimen					treated specimen				
	ρ_1 /g · cm ⁻³	relative density/%	d /mm	length /mm	treated number	ρ_2 /g · cm ⁻³	$\Delta\rho$ /g · cm ⁻³	relative density/%	d /mm	length /mm
4 [#]	1.809	96.53	54.20	123.00	1	1.858	0.049	99.15	53.70	121.92
5 [#]	1.810	96.58	54.20	123.00	1	1.858	0.048	99.15	53.70	122.00

表 3 低压热处理前后炸药件性能对照表(实验三)

Table 3 Properties comparison of untreated and treated specimens(experiment 3)

No.	untreated specimen					treated specimen				
	ρ_1 /g · cm ⁻³	relative density/%	d /mm	length /mm	treated number	ρ_2 /g · cm ⁻³	$\Delta\rho$ /g · cm ⁻³	relative density/%	d /mm	length /mm
6 [#]	1.848	98.61	80.00	50.40	2	1.858	0.010	99.15	79.62	50.34
7 [#]	1.845	98.45	100.00	100.92	2	1.859	0.014	99.20	99.56	100.86
8 [#]	1.850	98.72	100.06	40.04	2	1.859	0.009	99.20	100.04	40.00
9 [#]	1.852	98.83	100.04	40.18	2	1.860	0.008	99.25	100.02	40.14

3 结果与分析

3.1 结果与讨论

比较三组样品处理前后结果可见,9 发样品处理后尺寸均有所减小。1[#]~5[#]五发低密度的等静压成型炸药件相对密度提高了 2.19%~2.62%,实验一中 1[#]、2[#]、3[#]炸药件经两次处理后解决了疏松问题,分层缺陷也得到了改善,3[#]样品处理第三次后未发现缺陷,符合使用要求。说明增加处理次数,能进一步减少缺陷,改善炸药件内部质量。

实验二处理后的炸药件相对密度超过 99%,处理

后均未发现缺陷。说明增大处理压力,延长处理时间,可以更有效地提高炸药件密度,但是增大处理压力不利于炸药件内应力的消除,还有可能形成新的内应力,因此,在满足实验要求的情况下,应尽量减小处理压力。

实验三中 6[#]~9[#]四发模压成型炸药件初始相对密度较高,都在 98% 以上,经过处理后密实性非常好,其相对密度均超过 99%,更加接近理论密度,且处理后未发现缺陷,内部质量得到了改善,说明低压热处理对高密度炸药件同样有效。

3.2 作用原理分析

粉末颗粒在压制成型过程中受到外界压力的作用,

除发生塑性变形外,或多或少要发生一些弹性变形。当外界压力去除后,贮存在炸药件中的弹性应变能就会试图释放出来,使粉末的弹性变形得以恢复,这对已变形的粉末颗粒本身或整个炸药件来说,就是一个弹性膨胀和尺寸长大的过程^[8]。而压制过程中,高聚物粘结剂受热软化,在压力作用下,可以在颗粒的缝隙中流动。在冷却前粘结剂本身没有剪切应力,当卸压降温后,粘结剂已经固化,发生弹性变形的颗粒要恢复其原有体积与形状,而固化的粘结剂与咬合着的相邻颗粒阻止其恢复形变,就会在材料内部产生内应力。压力去除后,内应力的释放可能使局部界面脱粘或局部基体剪裂,形成微裂纹,甚至出现分层、疏松等初始缺陷^[9]。

低压热处理方法利用热塑型 PBX 可以反复加热加压的特点^[10],在高聚物粘结剂软化温度范围内,对 PBX 施加一定压力,使材料在弹性应变能释放的同时发生蠕变^[11],颗粒塑性变形后紧密啮合,减小了 PBX 的内应力及孔隙率,提高了密度。从细观角度看,反复加热加压使颗粒间接触区发生塑性变形,转变成永久性面接触,而且粘结相热软化,适应于变形后的间隙形状和大小,使材料内部的空隙可进一步得到填充,抑制炸药件的不可逆长大,提高其密度,减少分层、疏松等缺陷。

低压热处理方法必须考虑到热和压力的双重效应。因为,若只加热,会引起 PBX 炸药件的不可逆长大,降低密度;若只加压力,可能无法有效消除内应力、密度增加的不够理想,还可能造成炸药件形成新的缺陷甚至破坏。因此,在加温的同时,施以一定压力可改善粘结相与颗粒相表面状况。但压力又不宜过大,否则,卸压后同样可能引起弹性后效,产生内应力。

4 结 论

经 1~3 次低压热处理后的 PBX 炸药件,密度较处理前有了较大提高,对相对密度低于 97% 的炸药件,密度能

提高 0.041~0.049 g·cm⁻³;对相对密度超过 98% 的炸药件,密度提高了 0.008~0.014 g·cm⁻³,相对密度达到 99% 以上。低压热处理还能抑制炸药件长大,愈合初始缺陷,改善其内部质量。将该方法运用到生产实践中,能减少废品率,提高合格率,避免不必要的原材料浪费,有很高的实用价值,是一种较为理想的炸药后处理方法。

参考文献:

- [1] 董海山. 炸药及相关物性能[M]. 绵阳: 中国工程物理研究院, 2005: 72-80.
- [2] 张伟斌,田勇,温茂萍,等. JOB-9003 炸药热冲击损伤的超声波检测[J]. 含能材料, 2004,12(2): 85-88.
ZHANG Wei-bin, TIAN Yong, WEN Mao-ping, et al. Experimental study on the thermal shock damage of explosive by ultrasonic testing [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2004,12(2): 85-88.
- [3] Harrell D. LX-14 processing studies[R]. MHSMP-76-5D,1975, 10-12.
- [4] Harrell D. Bartherm processing of small LX-14 pressings [R]. MHSMP-75-20F,1975,1-3.
- [5] Johnson D. Mechanical Properties of Explosives[R]. MHSMP-P-74-35S, 1974.
- [6] Johnson D. Mechanical Properties of TATB Fel-F800 Formulation [R]. MHSMP-75-24E, 1975, 4-6.
- [7] Johnson D. Mechanical Properties of TATB Fel-F800 Formulation [R]. MHSMP-76-7A, 1975,10-12.
- [8] 马福康. 等静压技术[M]. 北京: 冶金工业出版社. 1992: 52-54.
- [9] 陈鹏万,丁雁生,陈力. 含能材料装药的损伤及力学性能研究进展[J]. 力学进展,2002,32(2): 212-222.
CHEN Peng-wan, DING Yan-sheng, CHEN Li. Progress in the study of damage and mechanical properties of energetic materials [J]. *Advances in Mechanics*, 2002,32(2): 212-222.
- [10] 李国超. 影响药柱力学性能的几个问题[J]. 火炸药学报,1984(5): 24-28.
- [11] 李明,温茂萍,何强,等. TATB 基高聚物粘结炸药的蠕变特性研究[J]. 含能材料,2005,13(3): 150-154.
LI Ming, WEN Mao-ping, HE Qiang, et al. The compressive creep behavior of PBX based on TATB [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2005,13(3): 150-154.

Effects of Low-pressure Heat Treatment on Charge Density and Inner Quality of PBX

LAN Qiong^{1,2}, HAN Chao¹, YONG Lian¹, ZHANG Ming¹

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

2. Graduate School of CAEP, Mianyang 621900, China)

Abstract: In order to study the low-pressure heat treatment on density and inner quality of pressed PBX, pressed PBX specimens were treated in isostatic pressing machine with pressure range of 5-10 MPa for 2-4 hours and repeated for 1-3 times. The properties of pressed PBX before and after treatment were compared. Results show that low-pressure heat treatment releases internal stress, increases relative density of PBX from 96.53% - 98.83% to more than 99%, improves inner quality, and restrains growth of pressed PBX charges.

Key words: materials mechanics; polymer bonded explosive (PBX); internal stress; low-pressure heat treatment