

文章编号: 1006-9941(2008)02-0188-03

HMX 钢模压制的微观结构演变研究

梁华琼, 周旭辉, 唐常良, 杨永林

(中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要:以 HMX 为基的高聚物粘结炸药(PBX)为对象,研究了在不同压制条件下 HMX 的微观结构的演变。为评估压制参数对微结构的影响,在 50 t 压机上分别采用 50, 100, 250 MPa 压力压制 $\Phi 20$ mm \times 5 mm 的药柱,采用深度腐蚀方法,去掉表面粘结剂,并用扫描电镜及激光粒度仪测试表征。结果表明:压力越大,颗粒的破碎及孪晶的形成现象越严重,从而改变了晶体颗粒的粒度分布,压制前平均粒径为 34.37 μm ,经 50, 100, 250 MPa 压力压制后平均粒径分别变为 31.16, 27.90, 26.37 μm 。

关键词:材料科学;高聚物粘结炸药;微观结构;压制参数;粒度分布

中图分类号:TJ55; O69

文献标识码:A

1 引 言

HMX 在钢模压制过程中会造成大量颗粒破碎,这会导致炸药件起爆热点的增加,其性能也将受到影响,对此,国内外在相关领域做了大量的研究。Skidmore 等^[1]曾用偏光显微镜(PLM)、扫描电镜(SEM)等方法研究了以 HMX 为基的几种不同 PBX 炸药在压制过程中的颗粒破碎及 HMX 晶体缺陷形成机理;Borne 等^[2-7]对含 20%~30% 粘结剂炸药配方中 HMX 晶体的特性进行了研究,发现其成型后的微观结构直接影响炸药的冲击波感度。Burnside 等^[8-10]对压制前后炸药颗粒形貌和粒度分布的研究表明,压制过程中颗粒的破碎现象很严重,使炸药粒度分布发生了明显的变化。

为深入了解压制过程中炸药颗粒尺寸的变化、晶体内部缺陷形成的机理及其微观结构的演变,本实验对以 HMX 为基的高聚物粘结炸药(PBX)在不同压制条件下的微观结构演变进行了研究。

2 试 验

炸药: JOB-9003

炸药成型工艺:室温下,采用群模,直接压制成 $\Phi 20$ mm \times 5 mm 的药柱;压制压力为 50, 100, 200, 250 MPa;测试手段:将压制的 $\Phi 20$ mm \times 5 mm 的药柱采用乙酸丁酯浸泡,进行深度腐蚀,去掉表面粘结剂后用扫描电镜及激光粒度仪测试。进行粒度测试时,对样品进行 20 s 超声处理。

收稿日期: 2007-01-04; 修回日期: 2007-04-10

基金项目: 中国工程物理研究院化工材料研究所所长基金(62601040110)

作者简介: 梁华琼(1977-),女,硕士,主要从事含能材料精密压装工艺及相关物性研究。e-mail: lhq_lhq008@sohu.com

3 结果与讨论

3.1 压制过程中炸药颗粒的初始损伤

图 1 为 JOB-9003 炸药的造型粉经深度腐蚀后得到的 HMX 炸药晶体的形貌。可以看出,炸药颗粒比较完整,菱角比较分明,没有明显的裂纹。

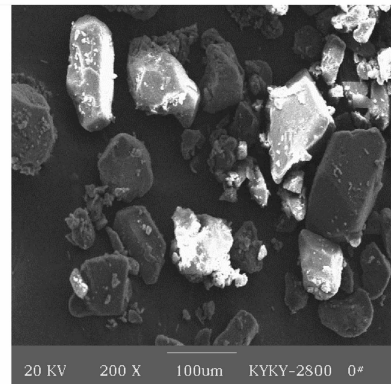


图 1 压制前造型粉中的 HMX 颗粒形貌

Fig. 1 SEM image of HMX in molding powders before pressing

图 2 为 50 MPa 压制后 HMX 的颗粒形貌。从图 2 可以看出,部分炸药的颗粒(150 μm 左右)已经发生了明显的破碎,在颗粒中产生了大量的裂纹,很明显是由于颗粒之间的相互挤压产生的,但是大部分颗粒保持较好的形貌,没有出现裂纹或裂缝。从而可以得出:在压制成型的初始阶段,以颗粒间的位移重排为主,从而消耗自由空间、变得致密。

图 3 为 250 MPa 条件下观察到的 HMX 颗粒形貌。从图 2 和图 3 可以看出,随着压力的增大,HMX 颗粒的破裂加剧,大的 HMX 颗粒(>100 μm)内部穿晶破裂形成小的孪晶,且随着压力的增加,形成孪晶的数量

增加。图 4(a) 中显示了一个大的炸药颗粒中嵌入了一个小的孛晶,在孛晶的左右两侧分别存在一道细小的裂纹,而上下端面却并未出现裂纹,这是值得注意的一个问题。图 4(b) 中 HMX 晶体表面形成的明显的流线表明,在压力作用下,发生了剪切位错。

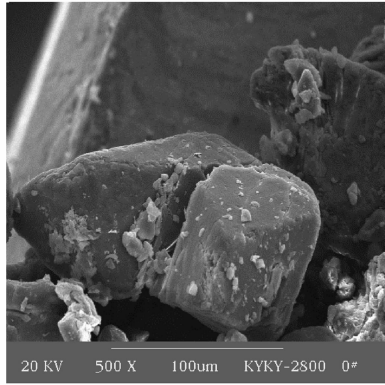


图 2 压制后 HMX 颗粒的形貌(50 MPa)

Fig. 2 SEM image of HMX after pressing under 50 MPa

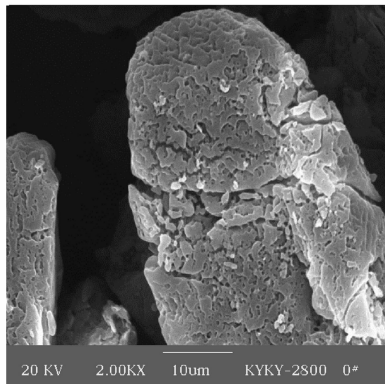
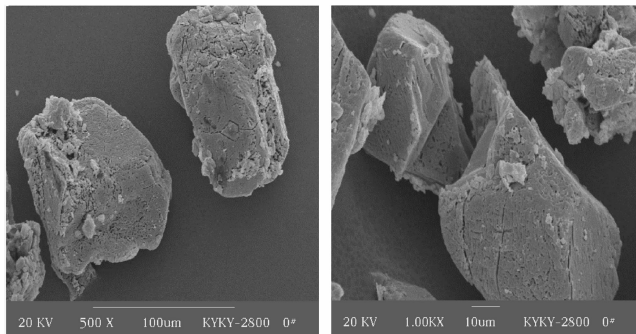


图 3 压制后 HMX 颗粒的形貌(100 MPa)

Fig. 3 SEM image of HMX after pressing under 100 MPa



a. 500X

b. 1000X

图 4 压制后 HMX 颗粒的形貌(250 MPa)

Fig. 4 SEM image of HMX after pressing under 250 MPa

3.2 压制过程中炸药颗粒的粒度变化

图 5 为压制前后 HMX 的粒度分布曲线。表 1 为粒度分布统计结果,其中 $d(\text{mean})$ 为体积平均粒径。可以看出,压制后由于炸药颗粒发生破碎,炸药平均粒径减小,压力越高,颗粒破碎越严重,粒径越小。同时从图 5 可看出,峰值粒径随着压力的增大而增加,当压力大于 100 MPa 时,峰值粒径随着压力的增大恒定在 50.23 μm 。这主要是因为:随着压力的增加,100 μm 以上的 HMX 颗粒破碎形成 50 μm 左右的孛晶数量逐渐增加,导致粒度分布曲线开始变窄,峰值粒径开始变大,并向 50 μm 左右靠近;同时,当压力超过 100 MPa 时,JOB-9003 炸药中大颗粒破碎形成的 50 μm 左右的较小颗粒开始成为受压颗粒的主流,其峰值粒径也几乎不再发生变化,只是随压力增大,峰值粒径对应的颗粒体积百分数从 3.73% 增加到了 4.64%,可以预测,当压力增加到某一极限值时,50 μm 左右的较小颗粒可能会进一步破碎,导致峰值粒径向减小的方向发展。

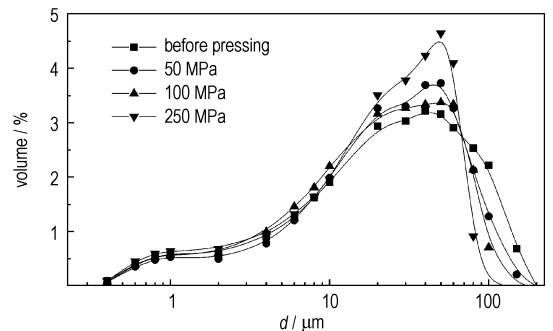


图 5 JOB-9003 炸药压制前后 HMX 的粒度分布频度曲线

Fig. 5 Particle size distribution of HMX before and after pressing

表 1 压制前后 HMX 的粒度分布特征值

Table 1 Particle size distribution of HMX before and after pressing

particle size	molding powder	pressed sample (50 MPa)	pressed sample (100 MPa)	pressed sample (200 MPa)	pressed sample (250 MPa)
$d(\text{mean})/\mu\text{m}$	34.37	31.16	27.90	26.55	26.37
$d(\text{peak})/\mu\text{m}$	41.67	45.75	50.23	50.23	50.23

3.3 PBX 中颗粒破碎规律研究

显微观察和粒度分析结果表明:开始加压时,受到压力作用的炸药颗粒开始相互接近,产生变形,有的炸药颗粒被挤碎,颗粒变小并填入缝隙,但是这一过程主要以颗粒间的位移重排为主,从而消耗自由空间、变得致密。冲头下移,体积缩小,另一部分颗粒又受力作用,重复这个过程,压力不断上升,体积逐渐减少,密度逐渐

增高,颗粒破碎损伤程度加大。随之,颗粒间的缝隙减少,颗粒移动变难。总之,PBX 在压制过程中,不断发生炸药晶体尺寸变化的复杂过程,即使在同一压力条件下,同一规格的各发药柱中颗粒度的变化也存在差异。

4 结 论

炸药压制密实过程中的一个重要机理是颗粒的破碎。在成型过程的初始阶段是造型粉颗粒的位移形变、大孔隙减少消失的过程,在这个过程中,几乎不发生颗粒破碎,就是发生了破碎,也是个别造型粉颗粒发生了大变形的结果;随着致密化的增加,破碎变得更广泛,其程度也加深;压力越大,颗粒的破碎及形成孪晶的现象越严重,从而改变晶体颗粒的粒度分布,压制前平均粒径为 34.37 μm ,而用 50, 100, 250 MPa 压力压制后平均粒径分别变为 31.16, 27.90, 26.37 μm ;峰值粒径随着压力的增加而有所增大,这是由于有较多的大颗粒破碎成了较小颗粒的缘故,当压力在 100 ~ 250 MPa 时,其峰值粒径几乎恒定在 50 μm 左右不变,只是随着压力增大,峰值粒径对应的颗粒体积百分数从 3.73% 增加到了 4.64%。

参考文献:

- [1] Skidmore C B, Phillips D S, Howe P M, et al. The evolution of microstructural changes in pressed HMX explosives [C] // Proc. 11th Intl. Det. Symp, 556, 1998.
- [2] Borne L. Microstructure effect on the sensitivity of cast plastic bonded explosives [C] // EUROPYRO 95, 6th Congres International de Pyrotechnie, Tours, France, 5 - 9 June 1995.
- [3] Borne L. Explosive crystal microstructure and shock-sensitivity of cast formulations [C] // The Eleventh International Detonation Symposium, 31 August-4 September 1998, Snowmass, Colorado.
- [4] Lefrancois A, Demol G. Increase of sensitivity of HMX-based pressed explosives resulting from the damage induced by hydrostatic compression [C] // 29th International Annual Conference of ICT, Karlsruhe, FGR, 30 June-3 July 1998, pp. 33 - 1 to 33 - 12.
- [5] Van der Heijden A E D M, Bouma R H B. Shock sensitivity of HMX/HTPB PBX's: Relation with HMX crystal density [C] // 29th International Annual Conference of ICT, Karlsruhe, FGR, 30 June-3 July 1998, pp. 65 - 1 to 65 - 11.
- [6] Peterson P D. Microstructural characterization of energetic materials [C] // 29th International Pyrotechnics Seminar, 2002.
- [7] Peterson P D, Fletcher M A, Roemer R L. Influence of pressing intensity on the microstructure of PBX9501 [J]. *J Energ Mater*, 2004, 21: 247 - 260.
- [8] Burnside N J, Son S F, Asay B W, et al. Particle characterization of pressed granular HMX [J]. *Shock Compression of Condensed Matter*, 1997: 571.
- [9] 陈鹏万. 高聚物粘结炸药的微观结构和力学性能 [R]. 中科院力学所博士后工作报告, 2001.
CHEN Peng-wan. The microstructure and mechanical properties of PBX [R]. The postdoctoral research reports of institute of mechanics, Chinese Academy of Sciences, 2001.
- [10] 陈鹏万, 黄风雷. 含能材料损伤理论及应用 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2006.
CHEN Peng-wan, HUANG Feng-lei. Damage Theory and Applications of Energetic Materials [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2006.

Microstructural Evolution of HMX During Pressing

LIANG Hua-qiong, ZHOU Xu-hui, TANG Chang-liang, YANG Yong-lin

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

Abstract: The microstructural changes of $\Phi 20$ mm \times 5 mm polymer bonded explosives (PBX) sample based on HMX pressed at 50 - 250 MPa were investigated by scanning electron microscopy (SEM). The particle size distributions of HMX were measured by laser particle size analyzer. Results show that as the porosity in samples reduces, the crystal twinning and cracking in pressed PBX increases obviously. The mean particle diameters of HMX is 34.37 μm before being pressed, and after being pressed under 50, 100, 250 MPa, the mean particle diameters of HMX are 31.16 μm , 27.90 μm and 26.37 μm , respectively.

Key words: materials science; polymer bonded explosive (PBX); microstructure; pressing parameter; particle size distribution