

文章编号:1006-9941(2008)06-0734-04

一种爆炸硬化用高聚物粘结塑性炸药及应用研究

安二峰, 陈鹏万, 杨 军

(北京理工大学爆炸科学与技术国家重点实验室, 北京 100081)

摘要:针对目前爆炸硬化所用炸药的性能不足,研制成功一种高聚物粘结塑性炸药。该炸药以 RDX 为主炸药,烯烃类高聚物作粘结剂,并添加惰性粉体作爆速调节剂、癸二酸二辛酯增塑剂和液体石蜡钝感剂进行配方设计,运用该配方所配制的塑性炸药对高锰钢辙叉的爆炸硬化表明:在辙叉铸造基体硬度为 HB170~190 时,一次硬化后,表面硬度达到 HB260~280;两次硬化后,表面硬度达到 HB310~330。结果表明:该塑性炸药的爆炸硬化工艺性能稳定。

关键词:爆炸力学;塑性炸药;高锰钢;爆炸硬化

中图分类号:TJ55; O389

文献标识码:A

1 引 言

金属爆炸硬化工艺是国内外已经发展起来的一种新的金属加工方法,许多国家都在进行研究与生产。为了满足爆炸硬化需要,各国相继做了大量研究工作;美国杜邦公司、日本旭化成公司、英国、德国及俄罗斯等竞相发表相关文章,介绍片状炸药的配方和性能。美国杜邦公司生产的 EL-506 片状炸药,是以太安炸药为主要成分,用橡胶与树脂混合物做粘结剂,制成不同厚度的片状炸药。该种炸药已成功应用于高锰钢的爆炸硬化。英国的“METABLE”片状炸药、日本旭化成研制的片状炸药都与美国杜邦公司产品大同小异^[1-2]。

高锰钢辙叉爆炸硬化在 20 世纪 80 年代初是爆炸加工领域的一个研究热点,在中科院力学所、铁道科学研究院和山海关桥梁厂以及铁道专业设计院的合作下,进行了系统的高锰钢整铸辙叉的爆炸予硬化研究,取得了一系列研究成果,在爆炸硬化炸药设计方面研制出塑料板状爆炸硬化炸药^[1-2]。20 世纪 90 年代,陈勇富等^[3-4]继续将该塑料硬化炸药改良为橡塑炸药,该硬化问题看似得到了圆满解决,但在炸药和工艺方面一直未达到铁道工业应用化标准,至今也没有在国内推广应用;相反,欧美等发达国家却纷纷在 20 世纪 80 年代以后建立工业标准,并推广使用^[1-2]。

2007 年,本文作者与有关辙叉生产单位合作,对高锰钢辙叉爆炸硬化用炸药和工艺进一步进行系统研究,研究过程中,作者还发现国内对高锰钢硬度的测量存在很大问题,大量有关爆炸硬化参考文献显示:国

内对爆炸硬化高锰钢硬度的测量采用的是洛氏硬度,而国内铁道标准和发达国家的高锰钢辙叉硬度采用的是布氏硬度^[1-7],作者经过研究发现,两种硬度测量在高锰钢上不具有等价转换性。

目前,我国主要有两类以 RDX 为主炸药的板状爆炸硬化炸药,一类是塑料片状炸药,另一类是橡塑片状炸药。这些中高爆速的爆炸硬化用炸药,基本上能够满足日常情况下的爆炸硬化加工需要,但局限性亦很明显。从当前所使用的可塑性爆炸硬化炸药来看,爆炸硬化用炸药存在以下几方面的缺陷:

- (1) 低温使用性能差;在低温情况下,不能可靠起爆或炸药本身变硬、变脆,不易敷设,造成冬季无法施工。
- (2) 药片密度均匀性差;可塑性炸药在人工擀制时,质点不易迁移,均匀性差;炸药感度较敏感,不能使用压面机压制,致使工艺稳定性差,成品率低。
- (3) 临界起爆厚度大,在起爆端加传爆药起爆。
- (4) 毒性大,工作人员常有头痛和尿频现象出现。

针对国内现有爆炸硬化用炸药的不足,本研究结合中铁山桥集团铁路辙叉爆炸硬化出口需求,研制成功一种塑性高聚物粘结炸药。该塑性炸药能够通过爆速调节组分准确调整炸药爆速,使爆速可以在 $3000 \sim 8000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 范围内变化;因此,该炸药可广泛应用于爆炸加工的各个领域。本文主要阐述该爆炸硬化用炸药的工艺和性能。

2 配方和工艺

2.1 配 方

该塑性硬化炸药的主要成分为普通黑索今炸药,以烯烃类高聚物作粘结剂,另加癸二酸二辛酯塑性剂、液体石蜡钝感剂及惰性粉体爆速调节剂等组成,各种

收稿日期:2008-03-21 修回日期:2008-06-25

作者简介:安二峰(1975-),男,讲师,博士,从事爆炸力学研究。

e-mail: anerfeng@bit.edu.cn

组分均无毒、无刺激性气味^[8-9]。该爆炸硬化炸药的配方组成见表1。

表1 爆炸硬化炸药配方

Table 1 Components of plastic explosive after explosion hardening

materials	mass ratio/%
RDX	80
polymer bond	9
plastic additives	3
insensitive additives	3
additives adjusting detonation velocity	5

2.2 制造工艺

该塑性炸药的制备工艺大致可以分为原料称量→混合→压制初胚→初胚压制成型四个工序。首先将各种原料按照质量比称好,然后将钝感剂、塑性剂和粘结剂混合,并水浴加热,搅拌、溶化20~30 min,溶解彻底后,将事先混合均匀的RDX和爆速调节剂混合物加入,进行充分捏合,捏合完毕,然后利用木模制作初胚,最后,将初胚经过压面机压制成型,并根据每次爆炸硬化所需形状剪裁使用。塑性炸药捏合后和初胚的形态如图1、2所示。

3 性能

3.1 一般性能

高聚物粘结塑性炸药外观为白色,不吸湿,在水中溶解度极小;遇大部分有机溶剂不溶解。其毒性不大(比黑索今还小),塑性很好,能够任意弯曲,能制成各种形状;其粘结剂、钝感剂和塑性剂的玻璃化温度均在-40℃以下,并经过冬季野外作业表明:在-20℃情况下,该爆炸硬化炸药能够保持良好塑性并可靠起爆;敷设性能好,在压面机压制成型时,该塑性炸药塑性好,能够保证厚度和密度均匀,便于施工操作。

3.2 爆速特性

该爆炸硬化炸药经压面机的压制密度为 $1.51 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。在该密度条件下,其主要爆轰性能表现为爆速,而爆速和炸药厚度有关,研究不同炸药厚度下的爆速,对进行爆炸硬化工艺参数设计具有重要作用,爆速测量仪为南京理工大学研制的NLG202G-2型六路电子数字测时仪,结果见表2。

表2 塑性炸药爆速测试结果

Table 2 Test results of detonation velocity of plastic explosive

thickness of explosive/mm	4.5	4	3.5	3	2
detonation velocity/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	6900	7000	6780	6660	6250

表2结果表明:在导爆索起爆条件下,该配方的塑

性炸药在厚度超过2 mm时,爆轰能够可靠持续传播。

4 应用研究

感度是炸药能否应用于生产与科研的重要指标。对于某一种炸药,即使它的性能很好,如果在制造和使用不能安全、可靠地起爆,也会失去应用价值,因此,了解高聚物粘结塑性炸药对外界的敏感度十分重要。对于爆炸硬化炸药直接用8#雷管或导爆索可靠引爆;在制造和压制过程中足够安全。现用落锤撞击感度来表征其发生爆炸的难易程度。

参照GJB772A-97方法测试该炸药感度,锤重10 kg,落高25 cm,药量0.03 g,共重复做落锤实验10次,发生爆炸2次,未发生爆炸的百分数为80%。

4.1 初胚在压制过程中断裂问题及解决措施

该塑性炸药配制并捏合完成后,利用木模制作初胚,在压面机上进行压制过程中,由于其抗拉强度很低,在压制过程中出现片状断裂(见图3),无法在硬化试件上进行有效敷设。

为了提高其压面机压制性能,提高抗拉强度,防止压制过程中片状断裂的发生,在制作该炸药初胚时,采用有机包覆技术,有效解决了初胚在压制过程中的片状断裂问题。经包覆压制成型后,在辙叉小试试件上的敷设情况如图4所示。

4.2 小试试件的一次爆炸硬化

爆炸硬化就是通过敷设炸药爆炸后,利用爆炸冲击波和爆轰产物与高锰钢(含锰11%~14%,含碳0.9%~1.3%的一种耐磨钢)表面相互作用,在金属中产生强烈冲击波作用下产生位错或孪晶,使之硬化。冲击波压力越高则表面硬度越大,但也越容易产生裂纹和其他缺陷,严重影响硬化效果;因此爆炸硬化炸药并不是爆速越高越好。利用所研制的塑性爆炸硬化炸药,采用导爆索线型起爆技术,对整铸高锰钢试件进行一次爆炸硬化研究,在高锰钢初始基体硬度为HB170~190下,爆炸硬化实验前、后情况如图5所示。

一次硬化后,在参考有关文献[2]基础上,采用洛氏(Rc)和布氏(HB)两种硬度计对初始基体硬度为HB180的1#高锰钢试件进行测量,结果见表3。

表3所示两种测量方法的测量值之间存在换算关系,但对同一试件的两种测量结果经换算后竟然大相径庭;洛氏(Rc)硬度36.6换算成布氏硬度为HB341,同一块试件,两种测试结果相差如此巨大,在相关参考文献[1-7]中,国内采用洛氏测量,而国外采用布氏测量,哪种测量结果正确呢?



图1 塑性炸药捏合形态

Fig.1 The kneading form of plastic explosive

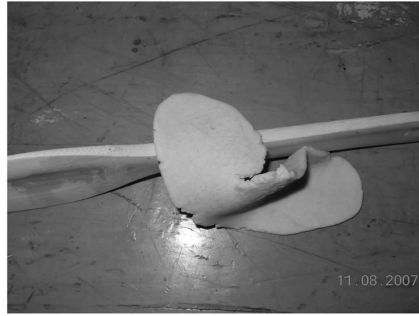


图2 塑性炸药初胚形态

Fig.2 Embryo of plastic explosive

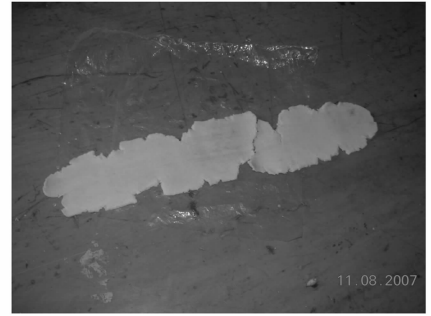


图3 炸药压制过程中的片状断裂

Fig.3 Fractures during explosive extrusion



图4 经包覆压制成形后的敷设情况

Fig.4 Laid on steel after wrap and extrusion



before hardening



after hardening

图5 硬化一次前、后实验情况

Fig.5 Experiment before and after explosion hardening

表3 爆炸硬化一次表面硬度测量结果
 Table 3 Test results of surface hardness
 after one time explosion hardening

No.		1	2	3	4	5	average
1	Re	41	39	33	38	32	36.6
	HB	273	269	262	267	259	266
2	Re	34.5	39	34	35	37	35.9
	HB	243	262	247	252	257	252

为了探讨这个问题,进行了金相分析,发现高锰钢基体晶粒相对粗大,晶粒大小不一,平均粒径达到0.2 mm以上,而洛氏(Re)硬度计的压痕装置是针状的,接触面积小,当压痕打在晶体和晶界上时,硬度值具有显著差别,显然用该法测量高锰钢的硬度不太合适;布氏硬度计(HB)的压痕装置是球状的,测量时接触面积大,硬度测量值一致性好。另一方面,高锰钢爆炸硬化前、后测量值均在布氏硬度有效测量范围中部区间,而处于洛氏(Re)硬度有效测量范围的下部区间。另外,对于我国铁标和国外高锰钢辙叉爆炸硬化技术标准而言^[10,2],也是以布氏(HB)测量为标准的。综合以上三方面的探讨可知,布氏(HB)测量结果是合理可信的。另外,从对1#、2#试件的金相分析图片上的位错滑移带

的分布来看,高锰钢经过一次爆炸硬化后,硬化层深度可达13~16 mm。由于篇幅限制,金相分析将另文讨论。

表面硬化后的灰迹表明:该塑性炸药爆轰稳定,药层敷设均匀,起爆距离很短,经测量仅有几毫米的距离,硬化后表面硬度分散性小。

4.3 高锰钢辙叉的爆炸硬化

将所研制的高聚物粘结塑性炸药运用于辙叉的爆炸硬化,药片在翼轨上敷设长度为950 mm,药型敷设如图5所示。试验研究表明:使用该高聚物粘结塑性炸药对高锰钢辙叉进行爆炸硬化,在辙叉初始基体硬度为HB170~190时,爆炸硬化一次,表面硬度达到HB260~280,深度达16 mm;硬化两次,表面硬度达到HB310~330,深度达30 mm以上;硬化后经探伤表明,表面和内部无裂纹、无损伤。进行一次和两次爆炸硬化作业时的实验情况如图6所示。一次和二次爆炸硬化后,对高锰钢进行切片,研究硬度随剖面深度的变化情况,结果如图7所示。

从硬度随剖面深度的变化情况来看,一次硬化后,硬度随深度急剧下降,表层下降快,深层下降稍缓;二次硬化后,硬度随深度变化明显趋缓,硬度梯度更趋合理,硬化深度显著增加。

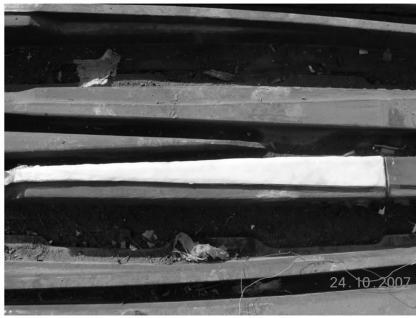


图6 辙叉爆炸硬化情况

Fig. 6 Explosion hardening test on rail frogs

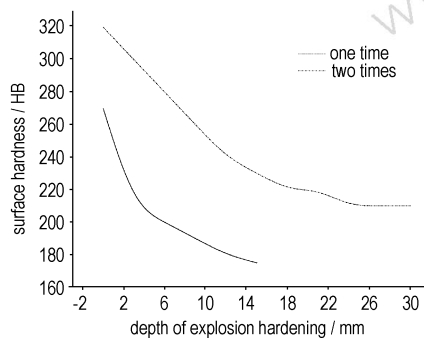


图7 爆炸硬化后硬度随深度的变化情况

Fig. 7 Curves of surface hardness vs depth of explosion hardening

5 结论

(1) 该高聚物粘结塑性炸药具有硬化工艺性好;可以使用导爆索直接引爆,机械撞击感度很低,爆速适中并且可调,可持续滑移爆轰的厚度小等特点。

(2) 该高聚物粘结塑性炸药耐寒性强,在冬季 -20°C 以上仍具有良好的塑性和可靠的爆轰性能,便于冬季野外施工。

(3) 在爆炸硬化中,该炸药使用性能良好,敷设密度均匀,起爆距离短,爆炸硬化效果明显;在初始基体硬度为HB170~190情况下,一次硬化后,表面硬度达到HB260~280;两次硬化后,表面硬度达到HB310~

330,对高锰钢爆炸硬化效果理想。

(4) 该塑性炸药经有机包覆后,抗拉强度高,可使用压面机压制成形,连续压制长度可达2 m,加工方便。

(5) 结合国内、外研究文献,分别采用洛氏(C)和布氏(HB)进行硬度测试,发现国内相关文献基本都采用洛氏进行硬度测试是不合理的,所测硬度显著偏大。

参考文献:

- [1] 赵士达,陈维波. 高锰钢整铸辙叉爆炸予硬化的研究[J]. 爆炸与冲击,1982,1(1): 11-23.
ZHAO Shi-da, CHEN Wei-bo. Investigation on explosive hardening of Hadfield steel railway frogs[J]. *Explosion and Shock Waves*, 1982, 1(1): 11-23.
- [2] 陈维波. 塑料板状炸药[J]. 爆炸与冲击,1984,4(3): 65-70.
CHEN Wei-bo. Plastic sheet explosive[J]. *Explosion and Shock Waves*, 1984, 4(3): 65-70.
- [3] 陈勇富,洪友秋. 高锰钢爆炸硬化理论及技术[J]. 矿冶工程,1993,13(1): 16-20.
CHEN Yong-fu, HONG You-qiu. Theories and technologies for the explosive hardening of high-manganese steels[J]. *Mining and Metallurgical Engineering*, 1993, 13(1): 16-20.
- [4] 陈勇富,洪友秋. 高锰钢爆炸硬化机理·炸药·应用[J]. 海南矿冶,1994,2(3): 20-24.
CHEN Yong-fu, HONG You-qiu. Mechanism, explosive and application for the explosive hardening of high-manganese steels[J]. *Mining and Metallurgical of Hainan*, 1994, 2(3): 20-24.
- [5] 郑哲敏,杨振声. 爆炸加工[M]. 北京: 国防工业出版社,1981: 532-536.
- [6] 龙维祺. 特种爆破技术[M]. 北京: 冶金工业出版社,1996: 205-212.
- [7] 张俊秀,刘光烈. 爆炸及其应用技术[M]. 北京: 兵器工业出版社,1998: 423-425.
- [8] 混合炸药编写组. 猛炸药的化学与工艺学[M]. 北京: 国防工业出版社,1983: 187-191.
- [9] 孙国祥. 高分子混合炸药[M]. 北京: 国防工业出版社,1984: 231-252.
- [10] 中华人民共和国铁道部. 铁道行业标准: 高锰钢辙叉技术条件TB/T447-2004[M]. 北京: 中国铁道出版社,2004: 1-4.

Application Study on a Polymer Bonded Plastic Explosive after Explosion Hardening

AN Er-feng, CHEN Peng-wan, YANG Jun

(State Key Laboratory of Explosion Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: A new polymer bonded plastic explosive was developed to meet the needs of explosion hardening. The polymer bonded plastic explosive based on RDX was made up of insensitive additives, plastic additives and the additives adjusting detonation velocity. The explosion hardening experiments on Hadfield steel of rail frogs show that the hardness on the surface of rail frogs can reach from HB170-190 to HB260-280 after explosion hardening one time and to HB310-330 after explosion hardening two times. The results show that performance and hardening process of the explosive are stable and reliable.

Key words: explosion mechanics; plastic explosive; Hadfield steel; explosion hardening