

# 高锰钢整铸辙叉爆炸予硬化的研究

赵士达 陈维波

研制出两种适合于爆炸硬化的板状炸药,并具体应用于高锰钢整铸辙叉的表面硬化。从宏观硬度、显微硬度和金相组织等方面,分析了炸药厚度、爆炸次数、合金元素、晶粒度以及表面脱碳等因素对高锰钢硬化效果的影响。此外还进行了爆炸硬化高锰钢辙叉的初步铺设试验。

## I、前 言

辙叉是铁道线路上转线用的主重构件。行车过程中,辙叉受到车轮的猛烈冲击,压陷和摩擦问题十分严重,它是线路上的薄弱环节,也是提高行车速度的控制环节之一。因此,为了提高使用寿命,在运输量大的干线上,大都采用高锰钢辙叉。高锰钢<sup>(1)(2)</sup>强度高、韧性好,并且具有强烈的冷加工硬化特点,是制造辙叉的理想材料。如果锰钢辙叉表面预先经过一定的冷加工硬化处理,使其表面硬度显著增大,便可以大大减少初期摩擦,延长使用期限<sup>(3)</sup>,我国生产高锰钢辙叉<sup>(4)</sup>是从1959年开始的,辙叉的表面予硬化处理,最初采用风枪打硬的方法,这种方法不但劳动条件差,而且予硬化层很薄,辙叉的初期摩擦仍然很大。为了进一步增强辙叉的予硬化效果,并改善劳动条件,我们和铁道科学研究院、山海关桥梁工厂、铁道专业设计院合作共同进行了高锰钢整铸辙叉爆炸予硬化的研究<sup>(5)(6)(7)</sup>,本文包括其中板状炸药的研制、高锰钢爆炸硬化的实验研究和铺设对比实验结果等三个部份。

## II、板 状 炸 药

高锰钢辙叉予硬化要求表面硬度达到布氏硬度400~500,硬化深度6~8毫米,硬化后表面不出龟裂。因此需要选用爆速高、锰度大、临界厚度小的炸药。其次,炸药应能制成柔软薄片,并能剪裁成所需要的形状,以便贴敷在所硬化的表面上。

为了满足上述要求,我们先后研制了两种板状炸药,一种是塑料板状炸药,另一种是橡胶板状炸药。

塑料板状炸药的主要成分是黑索金炸药,以环氧树脂作粘结剂,并在其中加入聚脂树

本文收到日期:1981年2月26日

脂、二丁酯等成分，以80/20配比的板状炸药为例，密度1.45克/厘米<sup>3</sup>，爆速6500米/秒，爆轰压力约170千巴，它可以用8号雷管直接引爆，冲击敏感度8~28% (10kg—25cm)。

橡胶板状炸药呈乳白色，它吸水但不溶于水，耐寒性能较好，能在冬季使用，柔软有弹性，能够弯曲或剪裁成任意形状，橡胶板状炸药冲击敏感度很小，以82/18配比如例，其冲击敏感度为1.4% (10kg—25cm)，它不能直接用8号雷管起爆，需要传爆药柱才能完全引爆，用示波器测定不同厚度的爆速 (配比82/18) 如下：

炸药厚度(m/m)	2	3	4	5
爆速 (m/sec)	6450	6560	7060	6900

关于板状炸药的详细情况见参考文献<sup>(8)</sup>。

### Ⅲ、高锰钢爆炸硬化的实验研究

我们用不同厚度的板状炸药和不同的爆炸次数，从宏观硬度、显微硬度和金相组织等方面，分析比较了合金元素、表层晶粒度以及表面脱碳等因素对高锰钢硬化效果的影响。此外还对爆炸硬化后试件的表面质量进行了观察和比较。所用试件除普通高锰钢外，有加钛和加稀土金属的高锰钢两种。表面晶粒度由2~3级到6~8级。在表面脱碳方面，除一般水韧处理的锰叉外，还用人工脱碳处理和经过表面加工除去脱碳层的试件作了比较。

有关金相分析和显微硬度方面的工作，主要是由铁道科学研究院金属与化学研究所承担的<sup>(9)</sup>。

#### 一、试件

试件共分三类。一类是446公斤—12号普通高锰钢整铸辙叉，铸造表面，水韧后微有脱碳，化学成份为：碳1.1~1.25，硅0.3~0.6，锰11.5~13.5，磷小于0.06，硫小于0.05。第二类试件为50×50毫米断面的高锰钢铸造试件，分为普通和加钛高锰钢两种，钛含量0.06，水韧处理后，上下表面经过机械加工，表层晶粒度2~4级。第三类是细晶粒铸造高锰钢园棒，表面车光后进行水韧处理，试件直径 $\varnothing$ 70毫米，高30~70毫米，分为普通、加钛和加稀土金属等三种，表层晶粒度6~8级，钛含量0.05~0.13，稀土含量未作分析。

#### 二、试验方法

试件表面清洗后，把板状炸药直接贴敷在试件需要硬化的部位上，如图(1)所示。

爆炸硬化后，先用便携式布氏硬度计粗测表面硬度，然后用电切割切成小块，测定表面及剖面上的洛氏硬度值。剖面在测量前先行磨光，磨削时最后进刀量在0.05毫米以内，以防止表面的附加硬

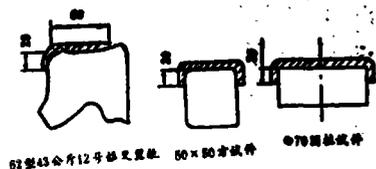


图 1

化,一部份试件作了金相观察和显微硬度测量。

### 三、试验结果

#### 1. 表面硬度

(1) 炸药品种和炸药厚度的影响 试件为普通高锰钢  $0 \times 50$  毫米铸造方钢, 结果见表(1)。

表 (1)

爆 炸 次 数	炸 药 厚 度(毫米)	试件编号	表 面 硬 度		表面硬度平均值	
			爆炸前R <sub>B</sub>	爆炸后R <sub>C</sub>	爆炸前R <sub>B</sub>	爆炸后R <sub>C</sub>
1	3	203	95.7	33	92.8	34
		12-32-4-3	86.3	32		
		1-1	94.6	35		
		2-2*	94.6	38		
	4	204	95.7	38	95.8	36.5
		12-32-41	96.3	38		
		7-1	95.5	35		
		7-2*	95.5	35		
	6	202	95.3	37	96	37.3
		207	98.7	35		
		9-1	95	39		
		9-2*	95	38		
	8	201	95.7	37	95.5	37.6
		208	97.7	37		
12-1		94.3	38.5			
12-2*		94.3	38			
2	3	205	97	40	96.3	38.5
		209	99.3	37		
		18-1	94.5	38.5		
		18-2*	94.5	38.5		
	4	206	98.7	43	96	41.3
		12-32-4-2	92.3	42		
		6-1	96.4	40		
		6-2*	96.4	40		

有\*号者为塑料板状炸药, 其它均为橡胶板状炸药。

(2) 合金元素的影响 所用炸药均为橡胶板状炸药, 厚4毫米, 结果见表(2)。

表 (2)

爆炸次数	高锰钢类别	试件编号	表层晶粒 度	表面 硬 度		表面硬度平均值	
				爆炸前R <sub>B</sub>	爆炸后R <sub>C</sub>	爆炸前R <sub>B</sub>	爆炸后R <sub>C</sub>
1	含钛	5	6级	91.7	37.5	97	37.5
		11	7	100	38		
		12-26-3-A*	3	99.3	36		
	含稀土金属普通	23	6	97.3	35	97.8	36
		26	7.5~8	98.4	37		
		19	7.5~8	92	37		
2	含钛	10	7	95.8	42.5	95.1	41.8
		12-26-3-B*	2	94.3	41		
	含稀土金属普通	28	6.5	92	43	92.5	42.8
		30	6	93	42		
		27	7.5~8	94.5	42		

有\*号者为50方试件，其余均为 $\varnothing 70$ 圆试件。

(3) 表层晶粒大小的影响 所用炸药与(2)同，结果见表(3)。

表 (3)

爆炸次数	高锰钢类别	件 号	表层晶粒 度	表面 硬 度		表面硬度平均值	
				爆前R <sub>B</sub>	爆后R <sub>C</sub>	爆前R <sub>B</sub>	爆后R <sub>C</sub>
1	普通	19	7.5~8	92	37	95	36.6
		204	4	95.7	38		
		12-32-4-1	4	96.3	38		
		7-1	2~4	95.5	35		
		7-2	2~4	95.5	35		
	加钛	5	6	94.7	37.5	97	37.5
		11	7	100	38		
		12-26-3-A	3	99.3	36		

续表 (3)

爆 炸 次 数	高 锰 钢 类 别	件 号	表 层 晶 粒 度	表 面 硬 度		表 面 硬 度 平 均 值	
				爆前R <sub>B</sub>	爆后R <sub>C</sub>	爆前R <sub>B</sub>	爆后R <sub>C</sub>
2	普 通	27	7.5~8	94.5	42	95.7	41.4
		206	3	98.7	43		
		12-32-4-2	3.5	92.3	42		
		6-1	2~4	96.4	40		
		6-2	2~4	96.4	40		
	加 钛	10	7	95.8	42.5	95.1	41.8
12-26-3-B	2	94.3	41				

(4) 表面脱碳的影响 试件为50方普通高锰钢试件, 第一次水韧处理后, 上下表面刨光, 然后用马弗炉作一次或二次脱碳处理, 处理过程为: 210℃入炉, 14小时升温至1200℃, 其中由1100℃升到1200℃共5小时, 然后在1300℃保温3小时后进行水韧处理。试件是在石墨管中加热的, 水韧后, 逐层刨屑取样, 进行含碳量分析, 如图(2)。脱碳处理前后, 试件表面晶粒度均为3~4级。爆炸硬化时所用炸药为橡胶板状炸药, 厚4毫米, 试验结果见表(4)。

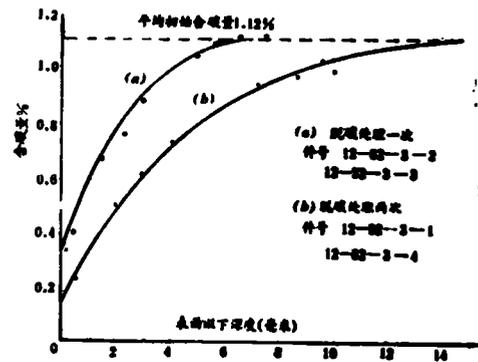


图 2

表 (4)

爆 炸 次 数	脱 碳 处 理 次 数	试 件 编 号	表 面 硬 度	
			爆 炸 前 R <sub>B</sub>	爆 炸 后 R <sub>C</sub>
1	1	12-32-3-3	97.4	40
	2	12-32-3-4	98.4	42
2	1	12-32-3-2	97.4	44
	2	12-32-3-1	104	48

2. 硬化深度

图(3)为辙叉剖面硬度分布图, 图中标有不同的等硬度线, 虚线表明炸药贴敷部位。

对应图(3)中等硬度线的水平部份,作出沿垂直方向的硬化深度曲线,见图(4),试验数据见表(5)。

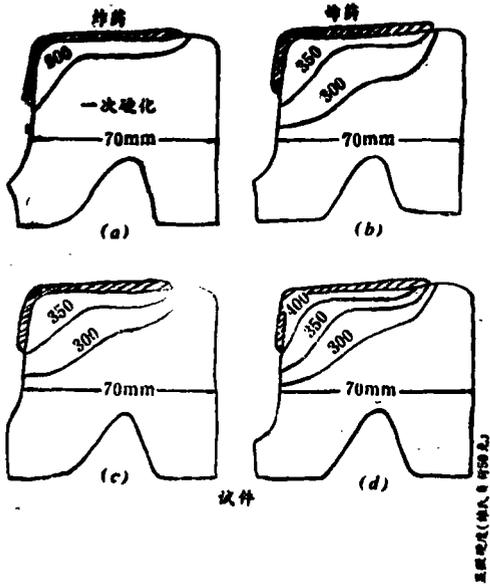


图 3

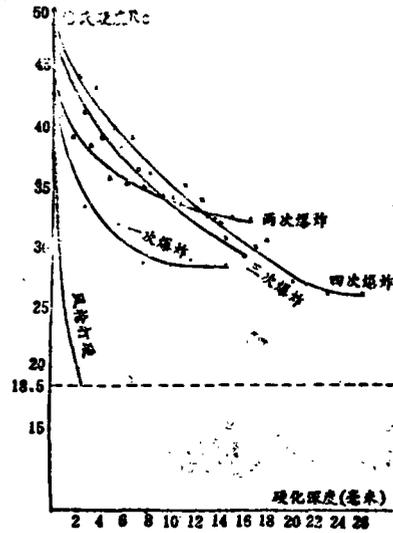


图 4

表 (5) \*

硬化一次 (件号 1—3—1)		硬化二次 (件号 1—3—2)		硬化三次 (件号 1—1—3)		硬化四次 (件号 1—5—4)	
深度 mm	硬度 Rc						
0	43.3	0	45.5	0	48.8	0	50.2
2.5	33.6	1.5	39.4	2.5	41.4	2.0	44.3
5.5	38.0	3.0	38.7	4.0	39.3	3.5	43.4
8.5	28.7	4.5	35.9	5.5	37.3	5.0	40.0
11.5	28.9	6.0	36.5	7.0	36.5	6.5	39.1
14.5	28.5	7.5	35.0	10.0	34.2	8.0	36.2
17.5	23.3	9.0	34.3	13.0	32.5	11.0	35.1
		10.5	33.6	14.5	31.8	12.5	34.0
		12.0	33.2	16.0	29.3	14.0	32.1

续表 (5)

硬化一次 (件号1—3—1)		硬化二次 (件号1—3—2)		硬化三次 (件号1—1—3)		硬化四次 (件号1—5—4)	
深度mm	硬度Rc	深度mm	硬度Rc	深度mm	硬度Rc	深度mm	硬度Rc
		13.5	32.3	19.0	26.0	17.0	30.1
		15.0	32.5			20.0	27.1
		16.5	32.0			23.0	26.1
		18.0	30.6			26.0	26.0

\* 炸药为80/20配比的塑料板状炸药,厚4毫米。

图(4)中风枪打硬的曲线,是50方普通高锰钢试件经风动工具打硬后的结果,试件初始硬度BHN220,打硬后表面硬度Rc43(BHN400),硬度在BHN300以上的硬化层不超过1毫米,整个硬化层亦仅4毫米。风枪打硬试件与爆炸予硬化辙叉的比较见表(6)。

表 (6)

件号	硬化方式	初始硬度BHN	硬化后的表面硬度BHN	硬化深度(mm)			
				BHN 400以上	BHN 350以上	BHN 300以上	BHN 220以上
011	风枪打硬	220	400	—	—	1	4
1—3—1	一次爆炸	220	403	—	—	6	22 *
1—3—2	二次爆炸	220	426	—	4	16	27 *
1—1—3	三次爆炸	220	461	—	6	14	16 *
1—5—4	四次爆炸	220	477	4	7	16	27 *

\* 铸件出现疏松区,硬度突然下降,因此此数值并非真正的硬化深度。

50方试件,不同条件下爆炸硬化后,沿深度方向的硬度值见表(7)。

### 3. 显微硬度

试件爆炸硬化后,割取金相试样,由表面垂直向下,进行了显微硬度测量。显微硬度计为HMT-3型,负荷为50克。图(5)、图(6)、图(7)分别为50方试样在不同硬化条件,不同晶粒度和表面脱碳条件下的测量结果。高锰钢辙叉在不同硬化条件下的显微硬度测量结果见图(8)。

### 4. 金相组织

高锰钢辙叉水韧后,原始组织为均匀的奥氏体组织,如图(9)所示。

爆炸硬化一次之后,由表面到心部的金相组织见图(10),最表层有一平均厚约0.2毫米的强烈变形层,晶内有大量滑移线。此层内可见到较多的沿晶裂纹,深约0.4毫米,如图

表 (7)

爆炸条件		试件编号	表面以下不同深度的硬度平均值R <sub>c</sub>										
炸药厚度 (mm)	爆炸次数		0 mm	3 mm	6 mm	9 mm	12 mm	15 mm	18 mm	21 mm	24 mm	27 mm	30 mm
3	1	1-2	36	30.5	30.2	28.3	27.1	24.8					
3	2	205	40	32.5	31	28.3	26.1						
4	1	204	38	29.3	29.3	28.1	28.5	27.1					
4	2	206	43	38.1	36.0	35.1	34.1	34.9	32.7	29.5			
4	1	12-32-3-3*	40	28.5	30.5	28.8							
4	2	12-32-3-1**	48	36.4	36	32.3	29.4	28.6	26.4	24.9	23.3	22.7	21
6	1	9-2	38	32.5	31.5	32.3							
8	1	12-1	38.5	33.3	33.5	31.8	30.3	28.3	28.8	27.3			

\*脱碳处理一次; \*\*脱碳处理两次

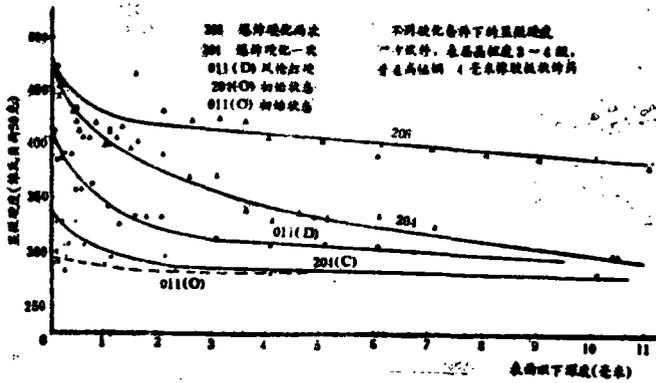


图 5

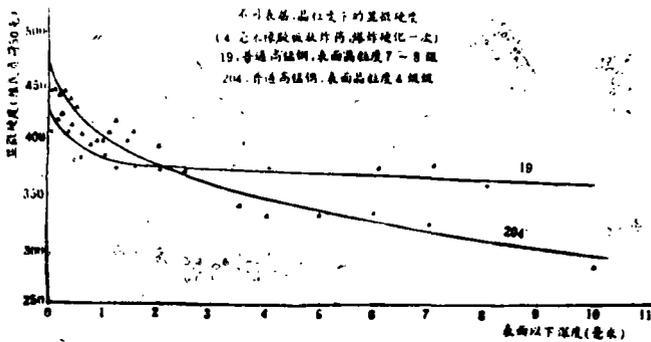


图 6

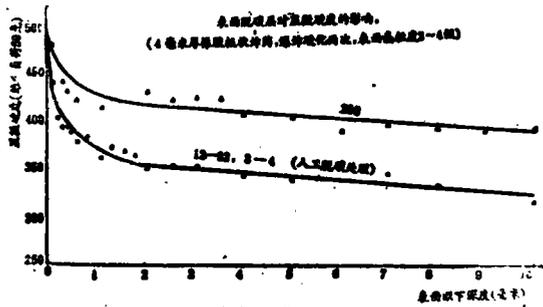


图 7

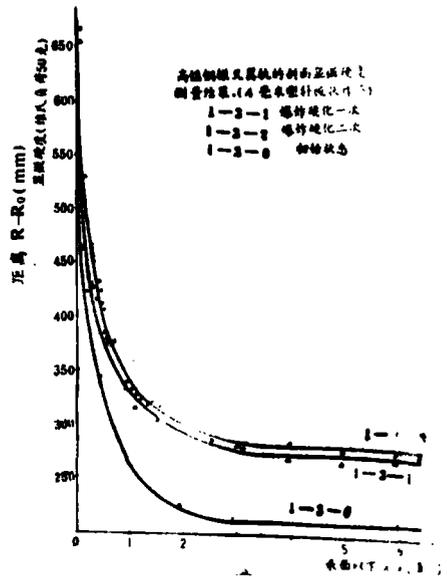


图 8

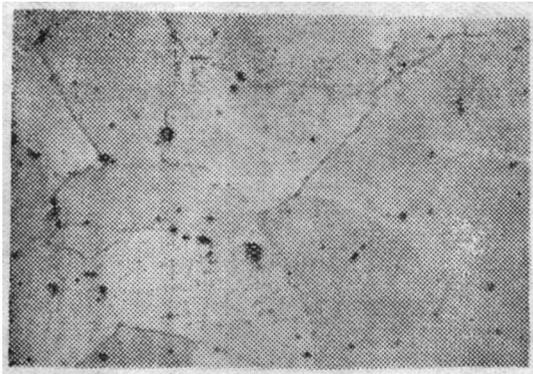


图 9 高锰钢辙叉初始奥氏体组织

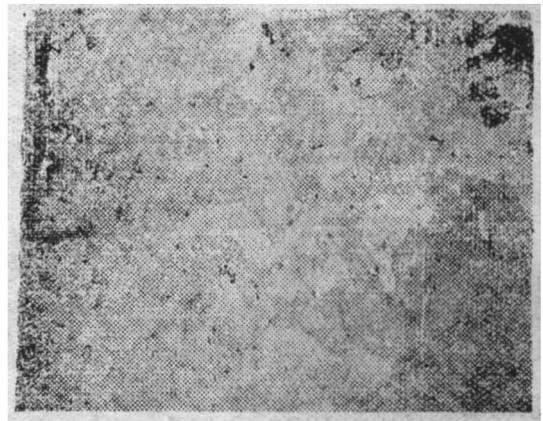


图10\* 高锰钢辙叉爆炸一次后剖面金相组织



图11\* 爆炸硬化一次后, 表面出现沿晶裂纹

\*: 2%硝酸酒精浸蚀。

(11) 所示。再向下为铸造细晶粒壳层，晶粒平均直径约0.15~0.16毫米，晶内呈现多少不等的滑移条纹，但晶粒尺寸与爆炸硬化之前比较，并无明显变化。

二次爆炸硬化之后，剖面金相组织的变化与爆炸一次基本相同，但表面沿晶裂纹较深，约0.5~0.6毫米，晶内滑移线也比爆炸一次为多，波及的范围亦较深，同样并无碎化晶粒现象，见图(12)。

图(13)为50方试件风枪打硬后剖面的金相组织。试件有一明显变形层，此层晶内有大量滑移线，变形与未变形层之间变化突然，界限分明，变形层的平均厚度约1.8~2.0毫米，见图(13)。

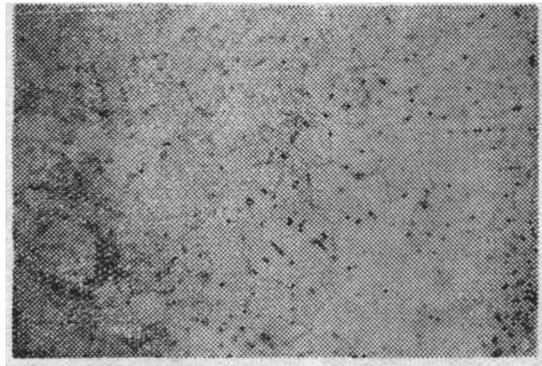
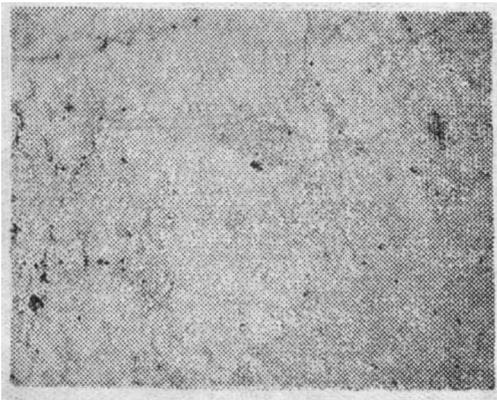


图12\*高锰钢辙叉爆炸硬化两次后剖面金相组织 图 13 风枪打硬后的剖面金相组织

#### 四、试验结果的讨论

1. 由表(1)可知，塑料板状炸药与橡胶板状炸药对高锰钢的硬化效果基本相同，药厚取3毫米时，表面硬度稍低，但在4毫米和4毫米以上则差别不大，因此炸药厚度以4毫米并重复爆炸两次为宜。

表(2)和表(3)表明，在高锰钢内加入少量钛或稀土金属，以及改变高锰钢试件表层的晶粒度(2~8级)等，对硬化效果均无明显影响。当表面严重脱碳时，表层为马氏体组织，初始硬度提高到Rc98~104，爆炸硬化之后表面硬度亦相应提高，但因马氏体组织硬而且脆，爆炸硬化之后，表面容易出现微裂纹，故在水韧处理时应尽量减少或避免表面有脱碳现象发生。

2. 由表(7)及图(4)可以看出，随着炸药厚度的增加，硬化深度加大，总药量相同时，分两次爆炸比一次的效果明显增大，表面严重脱碳的试件，爆炸之后，沿深度方向硬度衰减很快，硬化深度较小。

3. 图(5~8)是显微硬度的测量结果，数据比较分散，但在定性方面，显微硬度与宏观硬度两者的变化趋势是一致的。由图(5)可见爆炸两次比一次硬化深度有明显改进，而且均比风枪打硬深得多。由图(6)初步看出，相同条件下，细晶粒钢的硬化深度可能较大，但由于这方面所作试验不多，还不能作出明确的判断。图(7)表明，同样条件下，表面严重脱碳的试件，硬化深度较小，在定性方面与表(7)的结果是一致的。

4. 爆炸硬化之后, 在高锰钢的初始均匀奥氏体晶粒内出现大量滑移线, 引起硬度增高, 但爆炸载荷并不足以造成晶粒的碎化。

5. 高锰钢未加工过的铸造表面, 爆炸后出现微裂纹, 表面脱碳严重时尤甚。在爆炸硬化之前, 如果砂轮打磨去掉黑皮, 可以有效地防止爆炸微裂纹的产生, 至于此种微细裂纹在辙叉使用中影响如何, 须待进行比较大量的铺设试验之后, 才能作出判断。

### IV、高锰钢整铸辙叉爆炸予硬化

#### 扩大试验和铺设试验的初步结果

扩大试验<sup>(7)</sup>是在山海关桥梁工厂进行的, 先后共爆炸硬化辙叉55组, 所用炸药为塑料板状炸药, 厚3.5~4.5毫米, 直接贴敷在辙叉上如图(14), 12号锰叉每爆炸一次约需板状炸药1.3公斤。辙叉初始硬度为BHN200, 爆炸一次后, 表面平均硬度为BHN270, 爆炸两次为BHN354, 较实验室的硬化结果略低。如果初始表面比较光滑, 没有距离表面较近的内部缺陷, 则爆炸之后一般不产生新的缺陷。

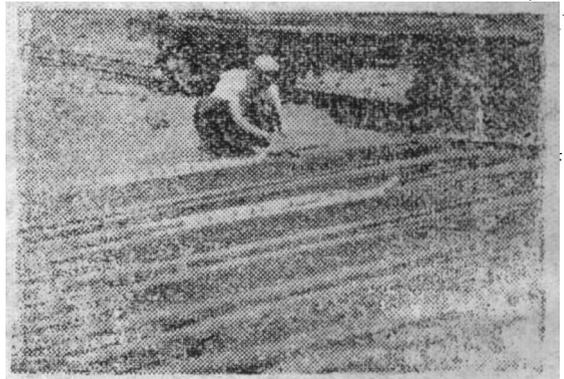


图 14 板状炸药的贴敷

铺设试验(10)是在山海关和前所等两个车站上进行的, 共铺设62型50公斤12号锰叉3组, 其中爆炸一次、爆炸两次和风枪打硬的各一组。经过三个月的观测表明, 爆炸予硬化的辙叉, 在提高耐磨性和减少肥边溢出方面, 确有明显效果。以心轨30毫米断面的磨耗为例, 结果见图(15), 初步估计爆炸两次可延长使用寿命30%。

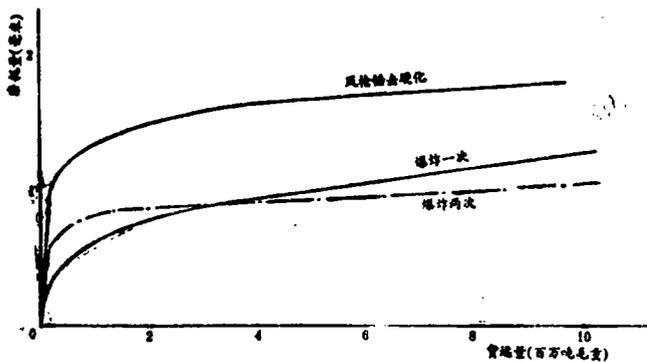


图 15

## V、结 语

1. 塑料板状炸药和橡胶板状炸药可以用于高锰钢的爆炸硬化, 塑料板状炸药含黑素金80%, 密度1.45~1.50, 爆速6500米/秒; 橡胶板状炸药含黑素金82%, 爆速6500~6900米/秒。两种炸药硬化效果基本相同, 但是这两种板状炸药的耐寒性能和防老化性能都还需要进一步提高。

2. 高锰钢爆炸硬化的条件, 以厚4毫米的板状炸药重复爆炸两次效果最好。爆炸一次之后表面硬度为 $R_c35\sim38$ , 硬度在 $R_c32$  (HB300) 以上的深度约3~6毫米; 爆炸两次之后, 表面硬度为 $R_c40\sim43$ , 硬度在 $R_c38$  (HB350) 以上的深度约16毫米, 爆炸两次的结果比较更符合辙叉硬化的要求。

3. 根据扩大试验和初步铺设试验的结果, 爆炸予硬化的辙叉在提高耐磨性方面确有明显效果, 爆炸两次的辙叉, 初步估计可延长使用寿命30%, 尚需进行更长时间的铺设试验, 才能作出确切的结论。

## 参 考 文 献

1. 高锰钢, 林范编著, 北京, 冶金工业出版社, 1966年7月
2. 高锰钢, R. A. 哈特菲尔德, 北京, 国防工业出版社, 1964
3. 高锰钢辙叉的摩耗与硬化, 铁道快报, 铁道建筑类, 1964年No 3, 14~16页
4. 高锰钢辙叉的研究, 铁道科学研究院铁道建筑研究所编, 1960年5月, 北京, 人民铁道出版社
5. 高锰钢整铸辙叉爆炸硬化阶段小结, 中国科学院力学研究所报告, 1966年4月1日
6. 高锰钢整铸辙叉爆炸予硬化的研究第三阶段工作总结, 中国科学院力学研究所报告, 1968年1月
7. 高锰钢整铸辙叉爆炸予硬化扩大试验小结, 中国科学院力学研究所、铁道科学研究院铁道建筑研究所, 山海关桥梁工厂, 中国科学院力学研究所报告, 1966年10月
8. 工业板状炸药, 陈维波等, 中国科学院力学研究所报告
9. 高锰钢道叉爆炸硬化金相检验报告(I), (II), 汪默宁, 铁道科学研究院金属与化学研究所金属组报告, 1968年6月26日, 7月17日
10. 高锰钢整铸辙叉爆炸硬化及铺设试验报告, 强鹤磷, 铁道科学研究院铁道建筑研究所报告, 1966年

〔附注〕 先后参加与本文有关工作的人员有: 力学所赵士达、陈维波、周一以、叶东英、章根德、陈勇富、李松山、相大光; 铁道科学研究院顾培雄、强鹤磷、邓钊印、刘宗和、潘岳山、汪默宁; 铁道部专业设计院康健; 山海关桥梁工厂刘洪彬、王世善等许多同志。工作中铁道科学研究院顾培雄同志给予了多方面的指导和帮助。现由力学所赵士达、陈维波根据“高锰钢整铸辙叉爆炸予硬化的研究”(中国科学院力学研究所报告1978年9月)一文, 整理发表。

---

## INVESTIGATION ON EXPLOSIVE HARDENING OF HADFIELD STEEL RAILWAY FROGS

Zhao Shi-da, Chen Wei-bo

Two kinds of sheet explosive for explosive hardening were developed, and the explosive hardening of Hadfield steel railway frogs was carried out. The influences of explosive thickness, times of explosion, alloy ingredient, grain size of the steel and surface decarbonization on the result of hardening were investigated together with the measuring of hardness and micro-hardness and microstructure observation. Preliminary in site experiments of the explosive hardened frogs were also carried out.