

爆炸冲击波对 16MnR 钢示波冲击性能的影响

管建军¹, 陈怀宁¹, 王严岩¹, 赵秀柏²

(1. 中国科学院金属研究所, 辽宁沈阳 110016; 2. 辽宁省开原市开原维科容器有限公司, 辽宁开原 112300)

摘要: 采用示波冲击试验机对经单面爆炸处理和双面爆炸处理的 16MnR 钢板的冲击性能与未处理钢板的冲击性能进行了比较研究。结果表明: 单面爆炸处理能提高材料的冲击总功, 能提高材料 0~20 °C 的裂纹萌生功和 -20~-40 °C 的裂纹扩展功, 但对裂纹扩展功与冲击总功之比没有多大影响; 双面爆炸反而降低了材料各方面的冲击性能。试样冲击断口特征证实了不同处理状态下材料所具有的这种差别。

关键词: 16MnR 钢板; 爆炸冲击处理; 示波冲击性能

中图分类号: TG115.5

文献标识码: A

文章编号: 1000-3738(2006)12-0001-03

Effect of Explosion Shock Waves on the Oscilloscopic Impact Properties of 16MnR Steel

GUAN Jian-jun¹, CHEN Huai-ning¹, WANG Yan-yan¹, ZHAO Xiu-bai²

(1. Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China;

2. Kaiyuan Weike Vessels Co., Ltd, Kaiyuan 112300, China)

Abstract: Oscilloscopic impact properties of 16MnR steel plates treated by single-side or double-side explosion shock waves were studied and compared with untreated ones. Single-side explosion treatment could improve the total impact energy (E_t), especially, crack initiation energy (E_i) of 16MnR steel at 0~20 °C and crack growth energy (E_p) at -20 to -40 °C, but has little effect on the ratio of E_p/E_t . The double-side explosion treatment decrease all kinds of impact energy. These phenomena have been proved by the characteristics from SEM fractographs.

Key words: 16MnR steel plate; explosion shock wave treatment; impact property

0 引言

爆炸处理方法已广泛应用于消除大型焊接结构的残余应力,其效果非常显著,普遍能降低残余应力 70% 以上。炸药爆炸时产生的冲击波可以使焊缝及热影响区在相当深度上产生一定的微观塑性变形,并对焊缝或母材的组织、性能产生各种影响^[1]。由于焊接结构经常在各种温度和不同介质情况下工作,材料的韧性往往成为最关键的性能指标,研究爆炸冲击波处理前后材料韧性的变化始终是一个受关注的问题^[1,2]。

普通的冲击试验机只能测得试样断裂时消耗的总功,不能真实反映材料韧脆转变时的性能细节,即

不能严格区分材料断裂过程中裂纹萌生和扩展的差别;而示波冲击试验机能提供试样断裂时的载荷-时间曲线、冲击功-时间曲线,并能将冲击总功分解为裂纹萌生功和裂纹扩展功,还能对相关曲线分析后获得材料的动态断裂韧度等。作者采用示波冲击试验机对压力容器用 16MnR 钢在爆炸冲击波作用后的冲击性能进行了初步探讨。

1 试样制备与试验方法

在厚度为 16 mm 的同一块 16MnR 热轧钢板上取下三块相同尺寸的板材(210 mm × 160 mm × 16 mm),板材长度方向与轧制方向相同,其中一块经单面爆炸处理,一块经双面爆炸处理,剩余一块未进行爆炸处理。将自制的条型橡胶炸药粘在板材长度方向的中心线上,板材经两面磨光后放置在同样光滑的底板上(普通碳钢),板材两侧采用螺钉压紧。爆炸处理用炸药的参数为:截面尺寸 10 mm × 5

收稿日期:2005-11-21;修订日期:2006-03-21

作者简介:管建军(1977—),男,湖北公安人,讲师,博士研究生。

导师:陈怀宁教授

mm,爆速 4 000~4 500 m/s。该钢板主要成分(质量分数/%)为:0.18C,1.58Mn,0.42Si,0.028S,0.017P;其力学性能为: $\sigma_b = 531$ MPa, $\sigma_s = 378$ MPa, $\delta_5 = 28.3\%$ 。

板材爆炸处理后用线切割取样,加工出 55 mm × 10 mm × 10 mm 的标准夏比 V 型缺口冲击试样^[3]。为了试验的一致性,距试板两端各 20 mm 范围的爆炸区不取试样。试样的长度方向垂直于板材的长度方向,并与板材长度方向的中心线对称,试样的缺口平面垂直于板厚方向。对于单面爆炸试样,取样时以爆炸压痕为对称中心(即试样冲击缺口处于压痕正下方),试样从 16 mm 减薄至 10 mm 时,减薄面为非爆炸面,如此可以保留爆炸冲击波的最大效应;对于双面爆炸试样,则从两面均匀减薄至

10 mm,冲击缺口同样位于药条压痕正下方。

试验机型号为 RKP-450,冲击试验温度分别为 20, 0, -20, -40 °C,每个温度下试验 3~5 个试样,试验结果取平均值。

2 试验结果与讨论

由图 1 可见,单面爆炸试样冲击试验载荷达到最大时,裂纹已经形成,此时对应的功(所消耗的能量)的值即为裂纹萌生功 E_i 。 $E-t$ 曲线上的最高点即为试样的冲击总功 E_t ,而裂纹扩展功 E_p 为冲击总功与裂纹萌生功之差,即 $E_p = E_t - E_i$ 。双面爆炸试样及未爆炸处理试样的曲线形式与此类似,在此略去。各种试验条件下的冲击总功、裂纹萌生功和裂纹扩展功见表 1。

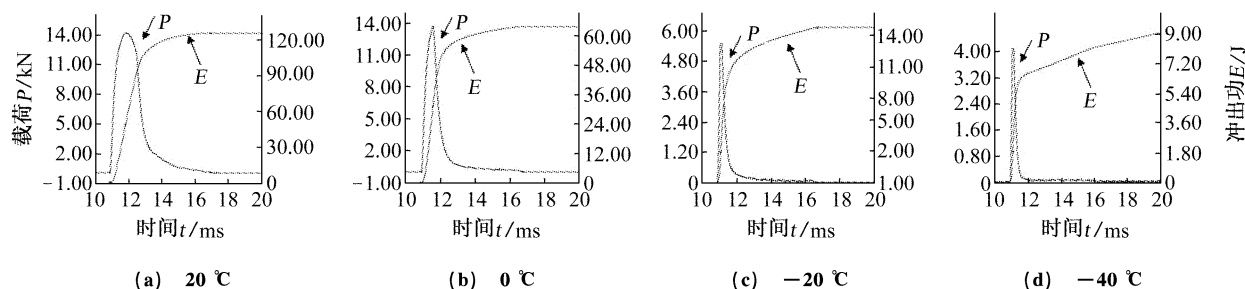


图 1 各温度下单面爆炸试样的 $P-t$ 曲线和 $E-t$ 曲线

Fig. 1 $P-t$ curves and $E-t$ curves of single-side impact wave treated test plates at different temperatures

表 1 三种条件下试样的冲击功

Tab. 1 Impact energy of test samples under three conditions

试验温度	试样	E_t /J	E_i /J	E_p /J	E_p/E_t
20 °C	未爆炸	117.58	47.83	69.75	0.59
	单面爆炸	118.15	52.33	65.82	0.56
	双面爆炸	113.58	44.33	69.25	0.61
0 °C	未爆炸	64.01	33.50	30.51	0.48
	单面爆炸	70.16	38.40	31.76	0.45
	双面爆炸	34.57	13.77	20.8	0.60
-20 °C	未爆炸	14.03	1.67	12.36	0.88
	单面爆炸	22.51	1.93	20.58	0.91
	双面爆炸	7.03	0.90	6.13	0.87
-40 °C	未爆炸	4.69	0.60	4.09	0.87
	单面爆炸	7.94	1.60	6.34	0.80
	双面爆炸	4.27	0.73	3.54	0.83

由图 1 和表 1 可见,该钢经单面爆炸处理后,在 20 °C 时的韧性最好,在 0 °C 时开始下降,在 -20 °C 时已较脆, -40 °C 时韧性已变得很差了。在 20 °C 和 0 °C 时,从摆锤接触试样到试样开裂所需时间约 1 ms,而在 -20 °C 及 -40 °C 时所需时间要小于 0.5 ms。在 20 °C 和 0 °C 时,试样开裂时摆锤与试样之

间的作用力几乎相同,约为 14 kN,但 0 °C 时的裂纹萌生功 E_i 要低一些。在 -20 °C 及 -40 °C 时,试样所受的最大冲击载荷和裂纹萌生功都几乎相同,只不过相应的幅值要比 20 °C 和 0 °C 时的低许多。其它状态下的试样也可得到相似的结论。示波冲击曲线很好地显示了材料脆性性能的相关细节。

由表 1 还可见,板材经单面爆炸处理后,不同温度下冲击总功均有明显增加,且随温度的降低,提高的比例逐渐增大,但 E_p/E_t 值变化不大;而板材经双面爆炸处理后,冲击总功反而比未处理板材的低。16MnR 钢的裂纹萌生功 E_i ,无论试样处于什么状态,在 20 °C 至 -20 °C 之间下降幅度较大。板材经单面爆炸处理后,裂纹萌生功得到了提高,特别是在高温段比较显著;而双面爆炸处理后,裂纹萌生功显著降低,特别是在 0 °C 附近,降低的幅度很大,只有原始母材的 41%;在低温段,三种状态下的裂纹萌生功几乎一致。

在 20 °C 和 0 °C 时,单面爆炸处理后,裂纹扩展功与未处理的相近,而在低温段则有显著提高,在 -20 °C 时提高幅度达到 66.5%;而双面爆炸处理后,

与未处理试样相比,在 20℃ 和 -40℃ 情况下裂纹扩展功未有很大变化,但在其它温度下则降幅比较显著,在 0℃ 和 -20℃ 时分别降低 32% 和 50%。

在 20℃ 及 0℃ 时,试样的裂纹萌生功均较高,其数值与裂纹扩展功相当;而在 -20℃ 和 -40℃ 时降至不到 2 J 的程度,远低于材料的裂纹扩展功。此现象说明,在低温条件下,16MnR 材料极易形成裂纹,爆炸处理对其没有明显的改善作用。

由图 2 可见,未处理试样在 0℃ 断裂时,尚有少量韧窝状断口;而在单面爆炸试样断口中,韧窝的比例要高得多;双面爆炸试样断口的韧窝数量极少,且解理断裂平台非常平缓。在 -20℃,未处理试样断口和双面爆炸处理试样断口的解理平台均比较平缓,且解理单元较大,单面爆炸试样断口的解理平台要细小一些,并且仍有少许韧窝出现。以上断口特

征也证实了不同处理状态下冲击韧度的差别。

由上述结果可见,无论是单面爆炸还是双面爆炸,对于 16MnR 钢的冲击性能均有明显影响,但试样经过单面爆炸和双面爆炸的影响结果是不同的,原因可能有二:一是反射拉伸波的不利作用^[4],双面爆炸时反射拉伸波的作用自然要比单面爆炸的大;二是应力波作用下材料的塑性变形行为的差异,双面爆炸时塑性变形能力要明显强于单面爆炸,这种作用可能造成材料中的位错大量缠结,层错能大大提高。已有研究表明^[5],应力波的这种作用在一定程度上是有利的,可以显著提高材料自身的疲劳性能或抗断裂能力,但是如果这种效应过于强烈的话,就可能使得应力波的不利作用走向反面。这些影响因素究竟起到什么样的具体作用,还有待下一步的深入研究。

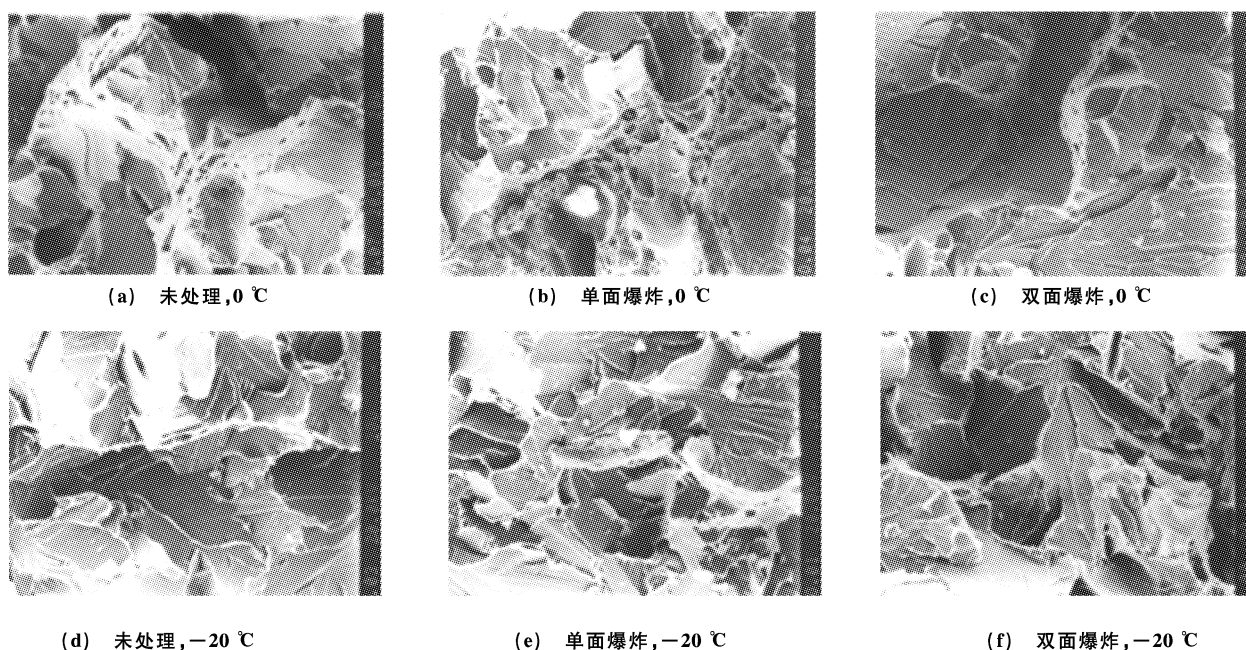


图 2 不同状态的冲击试样在 0℃ 和 -20℃ 断裂时的断口形貌

Fig. 2 Fractographs of impact specimens under different conditions (a) untreated (0℃) (b) single-side explosion (0℃) (c) double-side explosion (0℃) (d) untreated (-20℃) (e) single-side explosion (-20℃) (f) double-side explosion (-20℃)

3 结 论

(1) 单面爆炸冲击波处理可以明显提高材料的冲击性能,但对裂纹的扩展功与冲击总功之比值 E_p/E_t 影响不大。

(2) 在本试验条件下,单面爆炸可以显著提高材料的冲击总功 E_t 。在 0~20℃ 内裂纹萌生功 E_i 得到较大提高,而在 -20~-40℃ 内材料的裂纹扩展功 E_p 得到提高。而采用双面爆炸时,材料的冲击总功反而下降。

参考文献:

- [1] 陈亮山,陈怀宁,董秀中,等. 爆炸消除焊接残余应力新技术(专辑)[J]. 锅炉压力容器安全,1989,(增刊):18-39.
- [2] 龙 昕,陈亮山,陈怀宁. 冲击波处理及冲击后退火对 16MnR 钢韧性的影响[J]. 机械工程材料,2000,24(3):11-13.
- [3] GB/T 229-1994. 金属夏比缺口冲击试验方法[S].
- [4] 陈亮山,赵铁民. 反射拉伸波对 16Mn 钢焊缝微观组织结构和疲劳性能的影响[J]. 金属学报,1994,30(11):B519-B523.
- [5] 陈亮山,赵铁民. 爆炸冲击提高 16Mn 钢焊缝疲劳极限的机理[J]. 材料研究学报,1994,8(3):233-236.