

# 超高强度钢不同性质缺陷的声发射特性研究

刘义华<sup>1</sup> 熊建平<sup>2</sup> 王晓勇<sup>2</sup>

(1. 第二炮兵驻国营江河化工厂军代室, 孝感 432000; 2. 江北机械工程有限公司, 孝感 432000)



**摘要:** 研究了超高强度钢 30Si2MnCrMoVE 的声发射特性, 针对裂纹、夹钨、未焊透等几种常见焊接缺陷的声发射数据进行了分析, 为相关产品的声发射检测结果评定提供参考, 以此提高声发射技术在超高强度钢产品质量检测上的可靠性。

**关键词:** 超高强度钢; 缺陷; 声发射检测; 无损检测

## Acoustic Emission Characteristics Research on Different Defects of Ultrahigh Strength Steel

Liu Yihua<sup>1</sup> Xiong Jianping<sup>2</sup> Wang Xiaoyong<sup>2</sup>

(1. The Second Artillery Military Representative of Jianghe Chemical Plant, Xiaogan 432000;  
2. Jiangbei Machinery Engineering Co., Ltd., Xiaogan 432000)

**Abstract:** Acoustic emission characteristics of ultrahigh strength steel 30Si2MnCrMoVE are studied, and AE signals of crack, tungsten inclusion and poor penetration in ultrahigh strength steel are analyzed. These can provide references for AE test results assessment of related products and can also enhance the quality detection reliability of AE technique for ultrahigh strength steel products.

**Key words:** ultrahigh strength steel; defect; acoustic emission (AE) testing; nondestructive testing

### 1 引言

声发射是材料的局部应力释放而伴随产生瞬态弹性波的物理现象, 声发射检测就是基于此物理现象而发展出来的一种无损检测方法。声发射检测方法对材料中的动态信息很敏感, 所以国内外普遍采用该方法对运行中的设备、模拟试验下的工件、材料中可能存在的动态缺陷进行状态监测。

30Si2MnCrMoVE 是一种超高强度钢, 该钢元素含量: C 为 0.27%~0.33%; Si 为 1.4%~1.7%; Mn 为 0.7%~1.0%; Mo 为 0.4%~0.55%; V 为 0.08%~0.15%; Cr 为 1.0%~1.3%; 抗腐蚀性、可焊接性、热处理性较好, 广泛应用于薄壁大直径发动机壳体的生产制造。发动机壳体生产制造完成后通常要经过压力试验来验证整个壳体的强度、稳定性、应力应变等指标是否满足要求, 采用声发射技术对受力下的壳体状

态进行监测是一种比较好的方法, 也是一种常用的监测手段, 由于这种钢的相关声发射特性不很清楚, 缺少这种钢在产生屈服情况后的声发射数据判断经验。通过拉伸带有缺陷和完好的 30Si2MnCrMoVE 材料试片, 了解带有缺陷和完好的 30Si2MnCrMoVE 材料的声发射动态检测参数的特征, 以此为评定 30Si2MnCrMoVE 材料燃烧室壳体的声发射检测结果提供参照。对 30Si2MnCrMoVE 钢在应力作用下的声发射特性进行研究, 有助于了解 30Si2MnCrMoVE 钢制发动机燃烧室壳体在模拟工作状态下的稳定性, 通过对受力作用下的燃烧室状态的监测, 分析声发射信号的特征, 以此来推断壳体中可能存在的缺陷类型, 从而提高整个武器系统的质量可靠性。

### 2 试验准备

### 2.1 试片的制作

试验使用的试片为焊接件，材料为 30Si2MnCr-MoVE，厚度为 3mm，试片材料经过旋压—退火—机加—焊接—机加而成，通过人为设置焊接参数在试片内部预制了人工缺陷，采用 X 射线法确定试片内部存在的裂纹、夹钨、未焊透等缺陷，并确定了缺陷的大小，整个工序流程与发动机燃烧室壳体实际生产制造工序一致。对存在不同类型缺陷的试片进行编号，按材料机械性能测试要求进行加工，外形如图 1 所示，然后采用声发射技术对试片的拉伸试验进行监测。

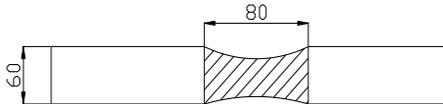


图 1 拉伸试片外形图

### 2.2 拉伸试验声发射监测

采用材料拉伸试验机对预制有缺陷和无缺陷的试片进行拉伸，声发射传感器用胶带和凡士林耦合在试片的两端，采用双传感器线定位的方式，在试片开始拉伸时，进行声发射检测的数据采集，数据采集一直进行到试片断裂为止。

### 2.3 数据采集方式设置

拉伸试片面积较小，采用 2 个传感器线定位的方式即可完成数据采集，阈值设置为 40dB，采用了振铃计数率、振铃计数累计、幅度 3 种数据采集方式。

**振铃计数率：**单位时间内出现的超过阈值信号的振荡次数，可用于观察某时间段出现的振铃计数情况。

**振铃计数累计：**所有超过阈值信号的振荡次数累加的变化趋势，可用于观察振铃计数出现的异常程度，一般来说变化趋势线 K 值越大，出现异常的概率越大。

**幅度：**事件信号的最大振幅，通常用 dB 数表示，幅度是声发射信号的重要参数，它不受阈值的限制，直接与事件强度大小相联系，常用于波源的类型鉴别，强度及衰减的测量。

## 3 试验情况

通过对带有不同性质缺陷试片的拉伸，使其进入屈服状态直至断裂，采集这期间的声发射数据。

### 3.1 振铃计数率检测情况

振铃计数率是单位时间出现的振铃计数，它是通

过线显示形式表示出来，如图 2~5 所示。

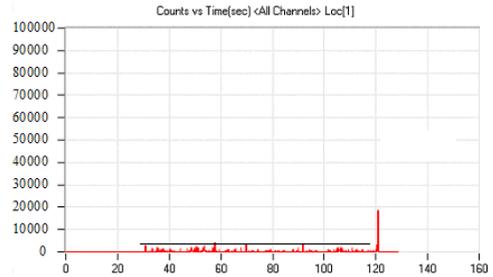


图 2 完好试片

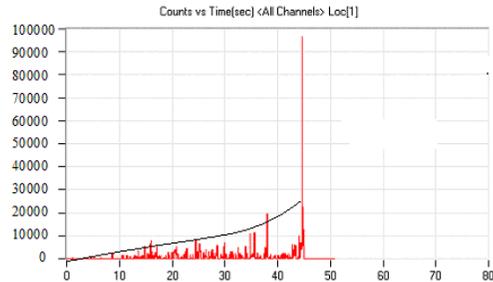


图 3 裂纹试片

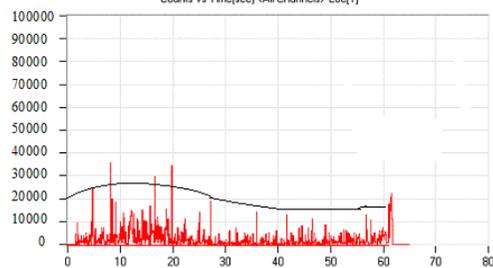


图 4 夹钨试片

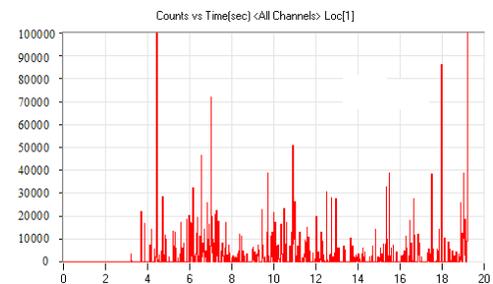


图 5 未焊透试片

- a. 完好试片拉伸过程中振铃计数率无明显增减情况，每时段出现的振铃计数比较均匀，破坏前最大振铃计数率约为 4000。
- b. 裂纹试片拉伸过程中振铃计数率逐渐增加，破坏前最大振铃计数率约为 20000。
- c. 夹钨试片拉伸过程中振铃计数率前一段时间（5~20s）较多，20s 后较少，破坏前最大振铃计数率约为 36000。
- d. 未焊透试片拉伸过程中振铃计数率比较均匀，

但拉伸到破坏的时间最短，只有不到 20s，破坏前最大振铃计数率约为 100000。

### 3.2 振铃计数累计检测情况

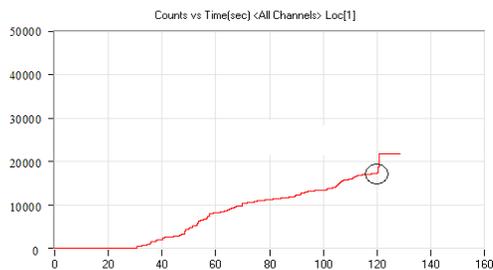


图 6 完好试片

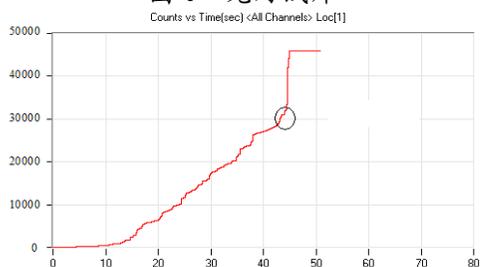


图 7 裂纹试片

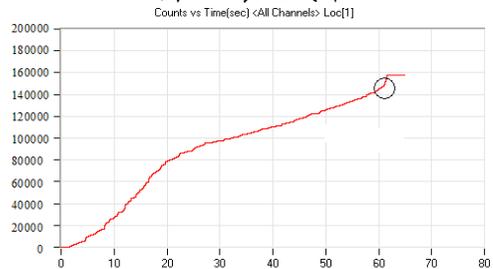


图 8 夹钨试片

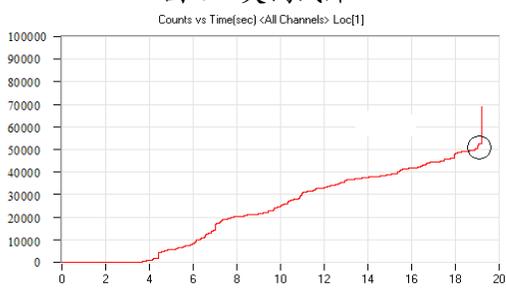


图 9 未焊透试片

振铃计数累计是试验整个过程中振铃计数率的累加，它是通过振铃计数变化趋势线来表示的，振铃计数累计线常采用线的切线斜率 ( $K$  值) 来表达。一般来说，如果某处  $K$  值小于等于 1，说明试件在该处相对应的拉伸力下，状态稳定，处在弹性变形阶段，无破坏性源产生。如果某处  $K$  值大于 1，说明试件在该处相对应的拉伸力下，状态不稳定，开始出现破坏性源或已产生屈服，进入塑性变形阶段，如图 6~9 所示，在试片产生破坏前几秒时间内，振铃计数累计

有一个加速过程，加速阶段振铃计数变化趋势线的切线  $K$  值大于 1，如图中圆圈处所示。

### 3.3 幅度检测情况

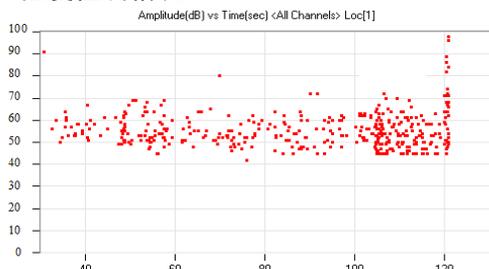


图 10 完好试片

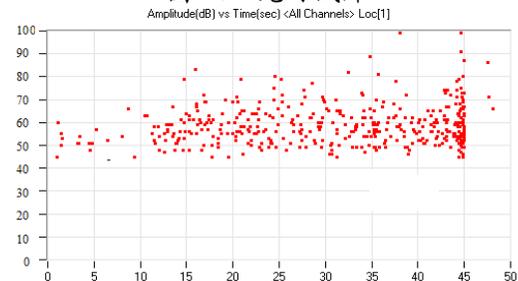


图 11 裂纹试片

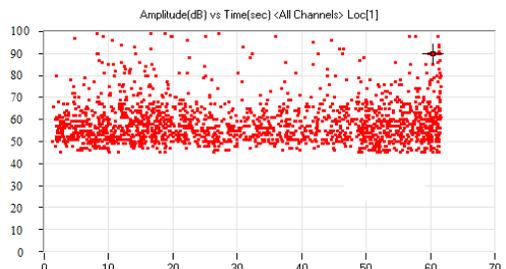


图 12 夹钨试片

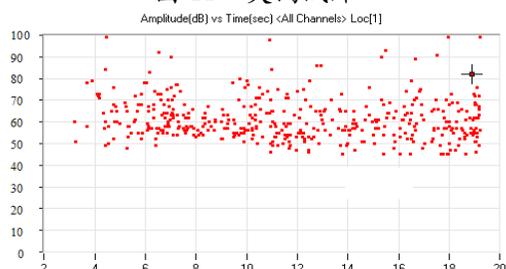


图 13 未焊透试片

信号幅度是事件信号的最大振幅，表示的是信号强度，从幅度图上还可以观察到某时段高幅度信号的数量，如图 10~13 所示。由于设置的门槛值为 40dB，所以低于 40dB 的信号都被屏蔽掉了。通常把高于 80dB 的信号叫高幅度信号，低于 60dB 的信号叫低幅度信号，从信号幅度图上可以看出，完好试片的高幅度信号最少，只是在断裂时产生几个，而夹钨试片的高幅度信号最多。裂纹试片在整个拉伸过程中，

信号幅度逐渐增强。未焊透试片在整个拉伸过程中,声发射事件幅度分布均匀。

#### 4 数据分析

通过对带有不同性质缺陷试片拉伸试验的声发射监测,从得到的声发射数据上看,不同性质缺陷和完好试片的声发射数据有所差异,从信号数量和变化趋势上看:

a. 完好试片的信号数最少,随拉力的增加信号无明显变化,只是在进入屈服状态后信号增加加快。振铃计数率小且不超过 5000,说明完好试片在拉伸的过程中,材料的形变比较均匀,无明显的应力集中区,振铃计数率很均匀,没有出现突然增加或增加加速的情况,从信号幅度上看,低幅度信号占绝大多数,高幅度信号很少,只是在破坏瞬间产生了几十个,拉伸直至试片破坏的时间为 122s。

b. 裂纹试片的信号较少,振铃计数率也偏小,但有随时间增大的趋势,有超过 10000 的振铃计数率,说明裂纹试片在拉伸开始,所受应力不大的情况下,裂纹处应力释放能量较小,所以振铃计数率较低,随着拉力的增大,裂纹处的能量释放增大,振铃计数率也变大,且呈发散趋势,信号幅度上看也逐渐增高,破坏前有 4 个高幅度信号产生,拉伸直至试片破坏的时间为 45s。

c. 夹钨试片的信号数最多,这是由于钨夹渣与基体材料互相摩擦产生大量的声发射信号所致,振铃计数率前期偏高,多次超过 10000,有随时间减小的趋势,说明在拉伸开始时,声发射信号以钨夹渣和基材的摩擦为主,随着拉力的增大,声发射信号以基材在夹钨处的应力集中能量释放为主,整个试验过程中,开始和快结束时出现的信号较多,而中间时段信号较少,高幅度信号在试验前期和后期较多,而中间稍少,拉伸直至试片破坏的时间为 62s。

d. 未焊透试片在整个拉伸过程中,振铃计数率较大,振铃计数率多次超过 10000,说明在未焊透试片拉伸的整个过程,未焊透部位应力释放的能量始终比较大。信号幅度无明显变化趋势,但始终较高,未焊透试片所受拉力时间最短,只有 19s,而且信号出现得比较均匀,没有明显的屈服阶段,断裂时无集中信号释放阶段,所以未焊透试片强度最低。

e. 从上面的数据可以看出不同缺陷的声发射信号幅度之间的差异,而且在断裂瞬间都伴随高幅度信

号的产生。从夹钨试片的数据来看,夹杂物对声发射数据有相当大的影响,这是由于夹杂物界面的破坏、夹杂物的断裂和夹杂物与基本金属之间的摩擦使声发射活动性加大,声发射源增多,声发射信号幅度也增大。

另外,所有试件在断裂瞬间均出现一个或几个高幅度的信号,这是由于应力松弛引起的弹性回复所产生的。因为试件在拉伸变形过程中,外力功被分为三种形式:塑性变形能、约束位能、弹性变形能,弹性变形能在最终卸载时突然一下子全部释放出来,产生了能量较大的信号,在幅度图上显示为高幅度。

#### 5 结束语

通过对带有不同性质缺陷的试片的拉伸,并采用声发射方法进行检测。试验结果表明,30Si2MnCrMoVE 超高强度钢在整个从弹性变形到塑性变形再到断裂的过程,除带有夹钨缺陷的试片外,在弹性变形阶段信号较少,随着拉力增加,试片进入塑性变形阶段,材料出现晶体间滑移摩擦直至断裂,声发射信号逐渐增多。而且不同的缺陷类型在振铃计数率、信号幅度、信号数量等声发射参数上有不同特征。

a. 完好试片的振铃计数率低、信号数量少且幅度较低,随着拉力增加,信号数变化不明显。

b. 裂纹试片的振铃计数率、信号数量和幅度均随拉力增加而增加。

c. 夹钨试片信号数较多,高幅度信号也多。

d. 未焊透试片的振铃计数率始终较高,抗拉时间最短,强度最低。

通过分析 30Si2MnCrMoVE 超高强度钢在应力作用下的声发射数据,可以推断或验证材料中可能存在的活动性缺陷类型,为声发射检测结果的评定提供依据,可以提高声发射技术在相关产品检测应用上的可靠性,为相关产品的例行试验状态说明提供参考,这对进一步提高采用 30Si2MnCrMoVE 超高强度钢制造的固体火箭发动机壳体等产品的质量可靠性具有实际应用价值。

#### 参考文献

- 1 GB/T18182—2000. 金属压力容器声发射检测及结果评价方法. 北京:中国标准出版社, 2000
- 2 耿荣生,沈功田,刘时风. 声发射信号处理和分析技术. 无损检测, 2002, 24(1)

