

超声波高温检测在铸钢件上的应用

马文进, 拓凌玺, 高阳, 征立刚, 项鹏

(宁夏共享集团有限责任公司检测中心, 宁夏银川 750021)

摘要: 铸钢件在缺陷焊补过程中需预热、焊后冷却、超声波检测等工序, 当超声波检测发现缺陷后仍需重复预热、冷却工序, 这造成了焊接周期较长的问题。为减少铸钢件的焊接周期, 研究和分析超声波高温检测中的声学特性, 确定并验证了适用于铸钢件超声波高温检测的温度、检测灵敏度、缺陷定位差异等参数。

关键词: 超声波; 高温检测; 检测灵敏度

中图分类号: TG247 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4977 (2012) 09-1035-03

Application of Ultrasonic High Temperature Testing to Steel Casting

MA Wen-jin, TA Ling-xi, GAO Yang, ZHENG Li-gang, XIANG Peng
(Testing Center, Ningxia Kocel Group Co., Ltd., Yinchuan 750021, Ningxia, China)

Abstract: Repair welding process of the steel casting consists of preheating, cooling after welding, and ultrasonic testing, etc. When the defects were found after ultrasonic testing, the process of preheating and cooling needed repeating, which resulted in the longer period of welding. To decrease the period of welding of steel casting, the acoustic characteristics of the ultrasonic testing were studied and analyzed at high temperature. The testing temperature, testing sensitivity, and defects location difference between high and low temperature were determined and validated, which were adapted to the high temperature testing of ultrasonic for steel castings.

Key words: ultrasonic; high temperature testing; testing sensitivity

超声波检测在铸造行业中的应用十分普遍, 其在铸件产品的质量控制在起着举足轻重的作用。在铸件超声波检测中, 常用A型超声波进行接触式扫查, 检测前检测人员需使用对比试块对检测设备进行校准, 之后才检测铸件内部质量。在高温下进行检测时, 由于校准试块与被检工件之间的温度差异, 造成材料的声学特性(如声压、声速等)的变化, 这种变化对实际铸件高温检测影响很大, 因此研究与分析铸件超声波高温检测时, 声学特性的变化对检测灵敏度、波速的变化影响十分必要。

后焊接, 然后冷却, 当冷却到预热温度后, 焊补区的温度与铸件温度相同, 冷却速度变慢, 一般需要4~6 h才能冷却到室温, 再进行超声波检测。若温度过高对铸件检测, 会对延迟性缺陷造成漏检, 因此铸件高温检测的温度范围为预热温度, 并且在铸件超声波常规检测中, 使用的普通探头都会在晶片上粘贴一层有机玻璃来保护晶片, 有机玻璃在加热过程中会变软, 超过90 °C后会熔化变形, 损坏探头。经过试验确定, 使用普通探头进行高温检测时, 适宜于铸件检测的温度不宜超过70 °C。

1 超声波高温检测条件与参数的确定

超声波检测灵敏度是评价超声波发现细小缺陷能力的重要参数, 常用人工反射体的尺寸来描述, 即当量大小^[1], 反射体的回波高度与超声波的声压成正比, 随着被检工件温度的变化, 影响检测灵敏度的因素主要包括材质声学特性、探头、耦合剂等。

1.1 检测温度的选择

焊接过程温度与时间关系见图1, 为防止氢气的产生, 需要对铸件进行预热, 根据材质不同, 预热温度一般为100~200 °C。达到预热温度

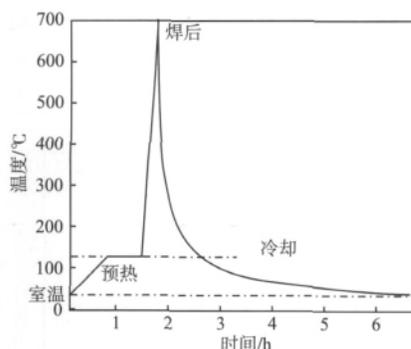


图1 焊接过程温度与时间关系

Fig. 1 Temperature-time curve of welding process

收稿日期: 2012-06-07收到初稿, 2012-07-01收到修订稿。

作者简介: 马文进 (1986-), 男, 工程师, 学士, 主要从事无损检测工艺方面的工作。电话: 18795388568, E-mail: mawenjin86@163.com

1.2 耦合剂的选用

超声波检测中常用的耦合剂有：浆糊、甘油、机油等^[2]，但超声波高温检测用的耦合剂需综合考虑多方因素。由于铸造车间的环境和高温检测的条件限制，从耦合效果考虑，浆糊、甘油在70℃时，迅速蒸发后很快干结而导致无法耦合，普通机油在高温下粘度较低，也达不到很好的耦合效果，容易造成缺陷漏检，因此应选用耐高温、粘度高的耦合剂。

2 超声波检测的影响因素

2.1 衰减对超声波灵敏度的影响

超声波在介质中传播时会有或多或少的损耗，所以回波幅度随着距离的增加而减少^[3]。实际上，即使在不考虑温度影响的情况下，超声波的衰减系数也很难确定，它受频率、波长、晶粒度、各向异性等因素的影响，与材质的微观组织结构有很大的关系，衰减对超声波高温检测的灵敏度影响很大，因此在实际检测中，必须加以考虑。

试验中，将被检工件加热至70℃稳定，调整超声波仪器，将底面的一次回波高度调至显示屏满刻度的30%作为基准，然后使工件停止加热，在空气中冷却，记录工件底面一次回波高度随温度变化的变化，测得的数据见表1，图2为回波高度随温度变化的概率图。

表1 回波高度与温度的试验数据表

Table 1 Experiment data of echo height-temperature

铸件表面温度/℃	大平底回波幅度1%	回波差 1/dB	大平底回波幅度2%	回波差 2/dB	大平底回波幅度3%	回波差 3/dB
70	30	0	30	0	30	0
65	33	0.8	32	0.6	35	1.3
60	35	1.3	34	1.1	40	2.4
55	38	2.1	39	2.3	45	3.3
50	50	4.4	53	4.6	52	4.5
45	60	6.9	61	6.2	62	6.2
40	68	7.1	69	7.2	69	7.2
35	75	7.3	74	7.8	87	8.3
30	88	9.4	92	9.7	92	9.7
28	90	9.5	94	9.9	93	9.8
25	90	9.5	94	9.9	93	9.8

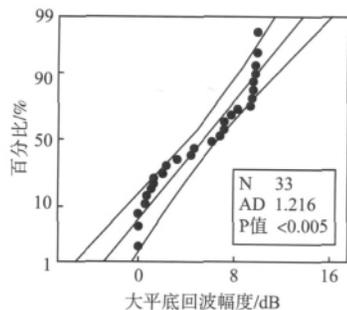


图2 回波高度随温度变化的概率图

Fig. 2 The probability curve of echo height-temperature

表1中的数据为笔者多次试验数据中的3组随机数据，从试验数据中可以看出：①检测温度在70℃时，与常温下相比，底波高度平均相差近62%，波高相差9.7 dB；②温度从30℃到28℃，波高随温度变化不大，28℃以后，波高不随温度变化而变化；③在实际工件高温检测中应适当提高灵敏度。

将试验数据利用Minitab软件进行分析，求回归方程。

由于测量数据不符合正态分布，所以需做Johnson变化，变换后的回归方程为：

$$Y=2.89-0.0636T \quad (1)$$

式中：Y为Johnson变换后的回归方程；T为被检工件温度。

Johnson变换函数为：

$$Y=-0.188723+0.348038\ln[(X+0.0815396)/(9.92772-X)] \quad (2)$$

式中：X为回波差。

将式(1)代入到式(2)中，解出X：

$$\begin{aligned} -0.188723+0.348038\ln[(X+0.0815396)/(9.92772-X)] &= 2.89-0.0636\times T \\ \Rightarrow X &= \frac{9.9277e^{(2.89+0.1887-0.0636\times T)/0.348}-0.8154}{1+e^{(2.89+0.1887-0.0636\times T)/0.348}} \quad (3) \end{aligned}$$

式(3)基本符合试验数据，可以用于估算不同温

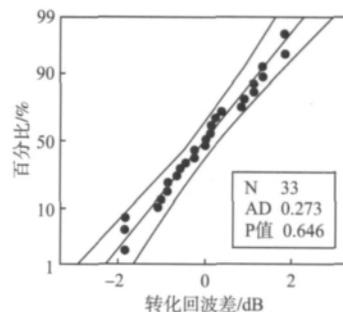


图3 做Johnson变换后的概率图

Fig. 3 The probability curve of echo height-temperature after Johnson transformation

表2 波速与温度变化关系表

Table 2 Wave speed-temperature relational table

铸件表面温度/℃	纵波波速/(m·s ⁻¹)	横波波速/(m·s ⁻¹)
25	5 912	3 216
30	5 910	3 215
35	5 903	3 212
40	5 900	3 209
45	5 896	3 205
50	5 893	3 203
55	5 889	3 202
60	5 885	3 200
65	5 880	3 196
70	5 875	3 192

度下的回波差,在室温下校准完,检测灵敏度后,提高相应的灵敏度作为补偿,以满足实际探伤需要。

2.2 温度对缺陷定位的影响

在固体介质中,当不考虑边界影响时,声速由密度、弹性模量和泊松比决定,不同的温度下,材料中弹性模量发生变化^[4],一般来说,弹性模量随着温度的升高而减小,所以,不同的温度下,超声波的声速随着传播介质的温度升高而降低,表2是通过试验测得的不同温度下的声速数据,铸件温度从25℃升高到70℃,纵波波速降低了仅37 m/s,横波波速降低了23 m/s。对于纵波检测,当在同声程下,超声波在铸件中的传播时间会增加,使得高温下所测得的缺陷深度较常温情况偏大,例如深度为100 mm的缺陷,定位偏差:波速为5 912 m/s时,超声波穿过100 mm的缺陷所需时间为:

$$t_{5912}=100/5912=0.016\ 915\ \text{s} \quad (4)$$

在相同的时间内,波速变为5 875 m/s时,超声波传播过的距离为:

$$d=t_{5912}\times 5875=99.37\ \text{mm} \quad (5)$$

与100 mm的距离仅差0.63 mm,铸件缺陷处理中,常用碳弧气刨的方法将缺陷挖除,碳弧气刨的误差为5 mm左右,因此这种波速变化引起的定位偏差对实际生产过程影响微乎其微。

3 结语

(1) 对铸件高温检测,检测温度不宜超过70℃。因为这个温度段内铸件冷却速度较慢,耗时较长,且延迟性缺陷的产生几率较低;另外普通探头在过高温下与工件接触,短时间内便发烫,甚至烧坏。

(2) 超声波高温检测中,由于声速变化引起的缺陷定位深度与实际深度之间的偏差对实际缺陷处理影响不大,可以忽略不计。

(3) 在常温下校准完毕的超声波设备在高温下检测,由于温度变化影响声压衰减,使得检测灵敏度不够,造成缺陷波达不到评定标准,发生漏检,因此在高温检测时,检测灵敏度应进行相应的提高。

参考文献:

- [1] 卢方龙,黄建冲,张春雷.管道焊缝高温状态下的超声波探伤[J].广东电力,2006(9):48-51.
- [2] 美国无损检测学会.美国无损检测手册:超声卷[M].中国机械工程学会《美国无损检测手册》译审委员会,译.北京:北京图书出版社,1996.
- [3] 关卫和,阎长周,陈文虎,等.高温环境下超声波横波检测技术[J].压力容器,2004,21(2):4-6.
- [4] 吕干霖,褚梅娟,王斌修,等.高温钢声速与声速滞后现象[J].声学学报,1992,17(6):48-52.

(编辑:潘继勇, pjj@foundryworld.com)

(上接第1034页)

砂型刚度与造型设备有关,等静压造型的砂型刚度高,均匀性好。而手工粘土砂型刚度低且不均匀,砂型刚度波动导致铸件出现不规则的缩松。由图3可知,MAGMA计算结果明显不符合上述结论,在使用MAGMA模拟粘土砂球铁的缩孔和设计铸造工艺时,应重视模拟软件的不足,笔者是采用MAGMA热节预测来设计粘土砂球铁铸件冒口,把铸件部分热节引入冒口,设计的铸造工艺可消除铸件缩松。

4 结束语

计算机凝固模拟技术为铸造工艺设计和分析提供了便捷的工具体,可事先进行铸造工艺参数裕度分析,优化铸造工艺设计。正确的使用模拟凝固技术,可缩短铸件的开发周期,降低废品率,提高铸件的质量和金属液体的收得率,实现绿色铸造。

在进行铸造工艺参数裕度分析的同时,也对

MAGMA软件进行了“裕度”分析,如果边界条件选择不当,模拟的结果可能与实际结果不符,应结合铸件的生产条件,选择各种不同的参数进行模拟分析,找出符合企业生产特征的工艺参数,做到人机结合。

参考文献:

- [1] 赵海东,孙凤振.铸造充型过程数值模拟及实验研究的进展[J].铸造,2011,60(7):641-646.
- [2] 张秀伟,康秀红,夏立军,等.大型钢锭凝固数值模拟与试验研究[J].铸造,2010,59(3):276-279.
- [3] 陈晓飞.1.5 MW风力发电设备用轮毂铸造工艺优化设计[J].铸造,2010,59(2):202-204.
- [4] 郭建明,俞卫松,周黎明.汽轮机外缸上盖凝固模拟分析和铸造工艺优化[J].铸造,2010,59(8):856-858.
- [5] 邱桂永,韩建民,杨智勇,等.凝固模拟参数设置合理性的检验方法研究及应用[J].铸造,2007,56(9):952-955.

(编辑:潘继勇, pjj@foundryworld.com)