

DOI: 10.11973/wsdc201711008

# 球墨铸铁 QT400-18 的石墨球化率 对超声声速的影响

占连扬<sup>1</sup>, 刘柯<sup>1</sup>, 杨友杰<sup>2</sup>, 邬冠华<sup>1</sup>

(1. 南昌航空大学 无损检测技术教育部重点实验室, 南昌 330063;

2. 超达阀门集团股份有限公司, 温州 325105)

**摘要:** 利用超声水浸 C 扫描检测方法检测球墨铸铁 QT400-18 铸件试样的声速, 测量了铸件不同部位的硬度, 并对该部位进行金相解剖, 最后对金相照片进行图像处理, 得到试样的石墨球化率。结果表明, 该铸件的声速与球化率、硬度与球化率之间皆有较好的相关性。实际生产中可通过硬度测量法对球墨铸铁 QT400-18 的球化率进行抽检, 也可采用超声声速测量法对其进行 100% 快速检验。

**关键词:** 球墨铸铁; 球化率; 超声声速; 金相

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2017)11-0036-03

## Effect of Spheroidization Rate of Graphite on the Ultrasonic Velocity of Ductile Cast Iron QT400-18

ZHAN Liyang<sup>1</sup>, LIU Ke<sup>1</sup>, YANG Youjie<sup>2</sup>, WU Guanhua<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Nondestructive Testing of Minsitry of Education, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China; 2. Chaoda Valve Group Co., Ltd., Wenzhou 325105, China)

**Abstract:** The spheroidization rate affects the properties of ductile cast iron. In this paper, ultrasonic C scanning was used to measure the velocity of ductile cast iron QT400-18 sample, and the rigidity of different parts of the sample was recorded and followed by metallographic testing for these specific positions. Afterwards, the metallographic photos were evaluated to get the spheroidization rate of graphite. The results show that the sound speed and spheroidization rate, rigidity and spheroidization rate of the casting have a good correlation. In actual production, the spheroidization rate of the product can be checked by rigidity measurement on spot, and 100% rapid tests can be carried out by ultrasonic sound velocity measurement method.

**Key words:** ductile cast iron; spheroidization rate; ultrasonic velocity; metallographic

球墨铸铁是一种在铁液中加入一定量的球化剂, 进行孕育处理得到的碳以球状石墨的形式形核生长, 并在凝固后的组织中得到球状石墨的铸铁。与灰铸铁相比, 球磨铸铁不仅具有优良的力学性能和化学物理性能, 还具有良好的耐热性和耐腐蚀性, 故其已经取代某些材料, 被广泛应用于工业各个领域<sup>[1]</sup>。

球磨铸铁中石墨的形态和分布对其性能有重要

的影响, 石墨球化率是评价球墨铸铁组织性能的重要指标。在将超声检测方法应用于球墨铸铁球化率的测量之前, 解剖和金相检验是球墨铸铁组织评价中最常用的方法。技术人员可以对照标准图片对金相检验结果进行定级, 或者利用图像处理方法对结果进行数字评定, 这需要经过取样、镶嵌、磨制抛光等步骤, 检验过程繁琐, 而且效率很低<sup>[2]</sup>。尽管还有多种方法能评价球墨铸铁的性能, 如热分析法、理学机械法等, 但这些方法都只能对批量产品进行抽检, 无法达到对重要结构件进行 100% 检测的要求<sup>[3]</sup>。

笔者研究了球墨铸铁 QT400-18 石墨球化率对

收稿日期: 2017-06-25

作者简介: 占连扬(1994—), 男, 硕士研究生, 主要从事无损检测技术及仪器研究工作

通信作者: 邬冠华, niat8@qq.com

超声声速的影响,验证了该批次球墨铸铁 QT400-18 试样球化率与超声声速的相关性,为实际生产中该球墨铸铁产品球化率的超声测量方法提供参考依据。

## 1 球墨铸铁球化率计算方法

球墨铸铁中超声纵波声速  $c_L$  的计算公式如式(1)所示。

$$c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \sqrt{\frac{1-\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad (1)$$

式中: $c_L$  为球墨铸铁的纵波声速;  $E$  为球墨铸铁的弹性模量;  $\mu$  为球墨铸铁的泊松比;  $\rho$  为球墨铸铁的密度。

而球墨铸铁中游离石墨的分布和形态对弹性模量、泊松比和密度皆有影响,故球墨铸铁的球化率不仅决定了其力学性能,对其声速也有较大的影响。

试验中对试样的超声声速的测量使用的是基于脉冲反射法的超声水浸 C 扫描法,其纵波的声速计算方法如式(2)所示。

$$c_L = 2h / (\Delta t) \quad (2)$$

式中: $h$  为试样的厚度;  $\Delta t$  为一次底波与二次底波的时间差。

首先,对金相检验结果使用数字评定方法(图像处理方法)求出其石墨面积率,然后根据石墨面积率与约化系数对照表(见表 1)找出约化系数和对应该约化系数的石墨粒数。

表 1 石墨面积率与约化系数对照表

参数	石墨面积/%				
	≥81	81~86	60~41	40~21	≤20
约化系数	1.0	0.8	0.6	0.3	0
约化系数相同的石墨粒数	$n_{1.0}$	$n_{0.8}$	$n_{0.6}$	$n_{0.3}$	$n_0$

再由式(3)计算得到球化率  $R$ 。

$$R = \frac{1 \times 1.0 + 0.8 \times n_{0.8} + 0.6 \times n_{0.6} + 0.3 \times n_{0.3} + 0 \times n_0}{n_{1.0} + n_{0.8} + n_{0.6} + n_{0.3} + n_0} \quad (3)$$

## 2 试验对象和过程

试验对象为若干圆饼形工件(见图 1),材料牌号为 QT400-18,其属于铁素体型球墨铸铁,具有良好的焊接性和切削性,常温时冲击韧性高,而且塑性较高。同时其脆性转变温度低,低温韧性也较好,该材料常用作能承受高冲击振动及扭转等动、静载荷的零件。工件规格(长×宽×高)为 46 mm×19 mm×9.4 mm,

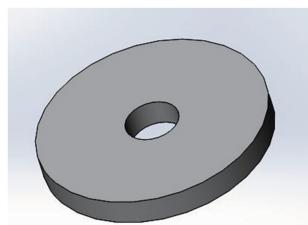


图 1 圆饼形工件外观示意

工件的表面状况为机加工表面,上下两面磨平,将试样上表面的环形区域平均分为 5 个相同大小的区域并编号。

采用超声 C 扫描方法对整个工件进行扫查,采样率为  $1.25 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$ ,采样间隔为 8 ns,时间阈值设定为表面波之前到二次底波之后,再将采集到的信号进行处理,生成 C 扫图像(见图 2)。通过调整时间阈值的方法可以查看工件内部不同深度的回波幅值情况,最终结果显示待测工件内部组织均匀,不存在缩松、缩孔、夹渣及其他铸造缺陷。在每个分区的中心截取大小为  $10 \times 10$  像素的区域,相当于 100 个数据点,使用批处理软件对截取的数据进行计算,得到 100 个数据点的声速平均值作为该点的声速。



图 2 工件的 C 扫图像

对超声 C 扫描之后的试样进行硬度测量,在每个分区随机采集 5 个点的洛氏硬度的平均值作为该点的硬度值。再对各个分区进行金相解剖、磨平抛光,在 200 倍显微镜下观察球墨铸铁的形态及分布,每个位置拍摄 4 张金相照片,对照片进行二值化并使用图像处理软件进行数字评定(见图 3),根据公式(3)计算得到相应位置的球化率和石墨面积比,将 4 张金相照片球化率的平均值作为该位置的球化率。

## 3 试验结果

将超声 C 扫得到的声速、硬度,以及金相解剖得到的球化率以及石墨面积比的数据进行汇总,得到声速与球化率、硬度与球化率的关系曲线(见图 4,5)。

使用 SPSS 软件分析声速与球化率、硬度与球化

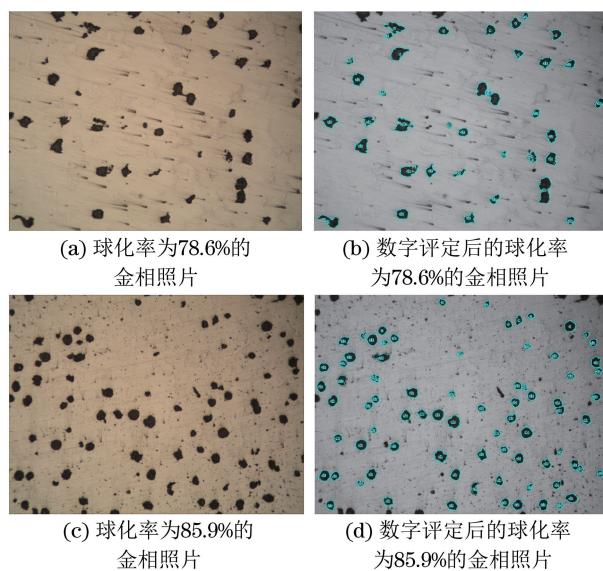


图 3 不同球化率的金相照片及其数字评定

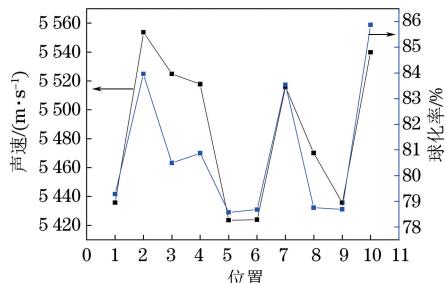


图 4 声速和球化率的关系曲线

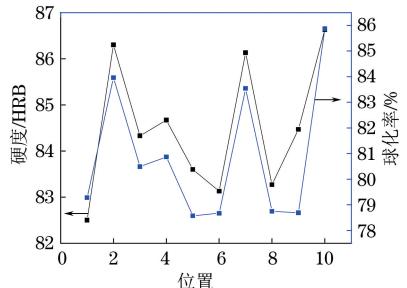


图 5 硬度与球化率的关系曲线

率的相关性,结果如表 2,3 所示。可得声速与球化率在 99.9% 置信度上,相关系数可达到 84.8%;而声速与硬度在 99.9% 置信度上,相关系数为 91.48%。

表 2 声速与球化率相关性分析结果

项目	声速	球化率
声速	Pearson 相关性	1 0.848
	显著性(双侧)	— 0.002
	N	10 10
球化率	Pearson 相关性	0.848 1
	显著性(双侧)	0.002 —
	N	10 10

表 3 硬度与球化率相关性分析结果

项目	硬度	球化率
硬度	Pearson 相关性	1 0.914
	显著性(双侧)	— 0.004
	N	10 10
球化率	Pearson 相关性	0.914 1
	显著性(双侧)	0.004 —
	N	10 10

对声速与球化率、声速与硬度数据进行线性拟合(见图 6,7),可得球化率与声速的线性拟合方程为  $R = 0.044c_L - 159.3$ ,其确定系数为 0.719;球化率与硬度的线性拟合方程为  $R = 1.68H_{RB} - 61.83$ ,其确定系数为 0.836。

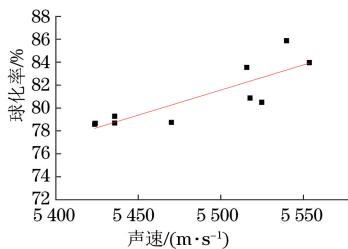


图 6 球化率与声速线性拟合结果

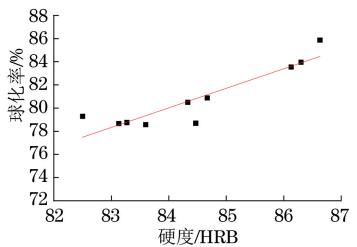


图 7 硬度与声速线性拟合结果

#### 4 结语

在当前工艺下生产的 QT400-18 牌号的球墨铸铁工件的球化率与超声声速、硬度皆有较好的相关性。在排除内部缺陷的情况下,使用线性拟合方程  $R = 0.044c_L - 159.3$ ,再利用超声方法计算得到球化率的数值。这样既能通过硬度测量对该产品球化率进行抽检,也可通过超声声速测量对其进行 100% 快速检验。

#### 参考文献:

- [1] 雷富军. 球墨铸铁球化及其孕育处理研究进展[J]. 热加工工艺, 2008, 37(13): 125-127, 131.
- [2] 朱钱兵, 张覃轶. 球墨铸铁中球化率和石墨大小的数字评定[J]. 金属加工(热加工), 2014(17): 89-91.
- [3] 张磊. 球铁球化率超声波检测系统的设计与建立[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2014.