

无损检测 轴类球墨铸铁超声检测

第 1 部分：总则

1 范围

JB/T 10554 的本部分规定了轴类球墨铸铁材料和工件的超声检测方法及其质量分级。

本部分适用于厚度范围在 10mm~200mm 之间的球墨铸铁材料和工件。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 JB/T 10554 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本部分，然而，鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本部分。

GB/T 1348 球墨铸铁件

GB/T 3829 蠕墨铸铁 金相

GB/T 9441 球墨铸铁金相检验

GB/T 9445 无损检测 人员资格鉴定与认证 (GB/T 9445—2005, ISO 9712: 1999, IDT)

GB/T 12604.1 无损检测 术语 超声检测 (GB/T 12604.1—2005, ISO 5577: 2000, Non-destructive testing—Ultrasonic inspection—Vocabulary, IDT)

GB/T 18694 无损检测 超声检验 探头及其声场的表征 (GB/T 18694—2002, eqv ISO 10375: 1997)

GB/T 18852 无损检测 超声检验 测量接触探头声束特性的参考试块和方法 (GB/T 18852—2002, ISO 12715: 1999, IDT)

JB/T 4008 液浸式超声纵波直射探伤方法

JB/T 4009 接触式超声纵波直射探伤方法

JB/T 7522 无损检测 材料超声速度测量方法 (JB/T 7522—2004, ASTM E494-95 (2001), Practice for Measuring Ultrasonic Velocity in Materials, MOD)

JB/T 9214 A 型脉冲反射式超声探伤系统工作性能 测试方法

3 术语和定义

GB/T 12604.1 中确立的术语和定义适用于 JB/T 10554 的本部分。

4 球墨铸铁概况

4.1 球墨铸铁检测前的准备

石墨以球形分布于基体组织中间的铸铁称为球墨铸铁。

被检的球墨铸铁材料或工件是按 GB/T 1348 的要求铸造的，并按 GB/T 9441 和（或）GB/T 3829 进行抽样金相检验合格的。由于抽样检验所代表的范围的局限性，在球墨铸铁工件超声检测各种缺陷之前，应逐件进行球化率和珠光体含量的超声检测。其检测方法见附录 B 和附录 C。

4.2 合格球墨铸铁的基本要求

合格的球墨铸铁，其基体中的石墨应为球状，并且基体组织中的珠光体和铁素体的总含量应大于 99%（其中珠光体含量应大于 85%）。满足此基本要求后，方可进行各种缺陷的超声检测。

5 人员要求

从事球墨铸铁材料超声检测的人员，应：

- a) 了解球墨铸铁铸造、热处理工艺过程，并经过球墨铸铁材料的超声检测专业技术培训和考试合格；
- b) 按 GB/T 9445 要求进行资格鉴定与认证，并取得相应等级的证书；
- c) 得到雇主或责任单位的工作授权。

6 检测技术

轴类球墨铸铁材料的超声检测可选用下列超声检测技术之一：

- a) 接触式（见 JB/T 4009）；
- b) 液浸式（见 JB/T 4008）。

7 检测系统

7.1 探头

7.1.1 可选用频率为 1.25MHz~2.5MHz，直径为 $\phi 14\text{mm}$ ~ $\phi 20\text{mm}$ 的单晶片直接头和频率为 5MHz，晶片尺寸为 $(4\times 4\sim 6\times 6)\text{mm}$ 双晶片换能器聚焦探头。

7.1.2 应按 GB/T 18694 和（或）GB/T 18852 进行性能测试，其主声束偏移声轴方向不大于 1° 。

7.1.3 双晶聚焦探头，其会聚区范围，应能满足检测球墨铸铁工件内缺陷深度的要求，且与被检曲面有良好配合。

7.1.4 探头的声场不应出现双峰。

7.2 耦合剂

7.2.1 接触式检测，宜采用机油或化学浆糊（羧甲基纤维素的水溶液）作耦合剂。

7.2.2 液浸式检测，宜采用纯净的水作耦合剂。

7.3 超声检测系统的性能

应按 JB/T 9214 进行系统性能测试，并符合下列要求：

- 水平线性偏差不大于 1%；
- 垂直线性偏差不大于 5%；
- 动态范围应不小于 30dB；
- 灵敏度余量不小于 45dB（在 CS-1 型 $\phi 2/200\text{mm}$ 平底孔试块上测得）；
- 分辨力（X 值）不小于 30dB；
- 衰减器范围不小于 100dB。

8 检测准备

8.1 表面清理

被检工件的超声检测面应清洁、平整、光洁，凡不利于超声波束传入的被检表面，都应清理干净后方可进行超声检测。

8.2 表面粗糙度

被检工件的表面粗糙度要求如下：

- a) 接触式检测， $R_a \leq 6.3\mu\text{m}$ ；
- b) 液浸式检测， $R_a \leq 25\mu\text{m}$ 。

8.3 检测环境

超声检测现场应安全、有水源和电源装置、光线适度，不应设在有强磁场、振动、高频、电火花、高温、灰尘大、噪声大及有腐蚀气味的环境中。其场地面积大小应能保证超声检测人员正常操作。

9 检测

9.1 检测时机

应在球墨铸铁材料或工件最终热处理后进行。

9.2 球墨铸铁中的超声波衰减

利用多次回波技术可以测出球墨铸铁中超声波衰减系数，其方法是：

用 2.5MHz 直探头，在工件的无缺陷部位，测出第 m 次背面回波与第 n 次背面回波高度相差的 dB 值，用 B_{n-m} 表示，设 $n > m$ ，则其衰减系数 μ 可用下式表示：

$$\mu = \frac{[B_{n-m} - 20 \lg(n/m)]}{2(n-m) \cdot S}$$

式中：

S ——被检部位工件的厚度，单位为 m；

μ ——衰减系数，单位为 dB/m。

球墨铸铁材料的衰减也可用其他方法测试，如测声速方法，见 JB/T 7522。

由于铸造工艺上的原因，各种球墨铸铁工件的衰减系数大小是不同的。不同炉批号浇铸出来的工件，其衰减系数也是不同的。衰减系数值小，则球化率好，珠光体含量也高，球墨铸铁件的强度高，耐磨性好。反之，衰减系数值大，则强度低，耐磨性差。由衰减系数大小的不同，能判断出球墨铸铁件强度的高低。

9.3 超声检测灵敏度

9.3.1 用球墨铸铁试块校准灵敏度

9.3.1.1 检测平面工件，利用附录 A 所述的 QT-1 型球墨铸铁试块上的 $\phi 50$ 、 $\phi 75$ 两个平行平面，测得四次背面回波反射达到 U1 级作为起始灵敏。

9.3.1.2 检测圆形或轴类工件，利用附录 A 所述之 QT-1 型球墨铸铁试块上的 $\phi 100$ 、 $\phi 75$ 、 $\phi 50$ 三个不同曲面，使其中任意一个与被检工件直径相当，调节衰减器测出有四次背面回波反射达到 U1 级，作为轴类工件超声检测的起始灵敏度。

9.3.2 用工件校准灵敏度

9.3.2.1 若在 9.3.1.2 中的 $\phi 100$ 、 $\phi 75$ 、 $\phi 50$ 三个直径与被检测工件直径相差较大，则在球墨铸铁工件检测之前，首先找出工件上无缺陷的部位，调节衰减器，使该无缺陷部位有四次以上背面回波反射且无杂波出现达到 U1 级，记下此时衰减器的读数，并以此作为起始灵敏度，对这一批球墨铸铁件进行超声检测。

9.3.2.2 每次检测球墨铸铁工件之前，以及连续检测球墨铸铁工件 2h 后，均需校准仪器灵敏度，使之保持在 U1 级的水平上，以确保检测结果的可靠性。

9.4 球化率的检测

球墨铸铁的球化率按附录 B 进行超声检测，确认球墨铸铁材料已具有良好的球化率。每个工件，在无缺陷处，至少检测三个不同部位，若波形图符合附录 B 中图 B.1.b 或图 B.2.b 者可以进行检测。

球化率低，则球墨铸铁材料或工件，不符合本标准。

9.5 基体组织的检测

球墨铸铁的基体组织按附录 C 进行超声检测，每个工件，在无缺陷处至少检测三个不同部位，其波形图符合附录 C 中图 C.1.b 或图 C.3.b 者可以进行检测。

珠光体含量不足或铁素体含量过高，则球墨铸铁材料或工件不符合本标准，下面的缺陷检测，就没有必要进行下去。

9.6 缺陷的检测

在对球墨铸铁材料和工件，进行超声检测球化率和基体组织均符合 9.4 和 9.5 的条件下，方可进行球墨铸铁材料或工件内部的缺陷超声检测，根据被检工件几何形状选择检测技术。

对可疑的反射波信号进行分析和记录。

用接触式检测球墨铸铁工件时，超声检测人员手持探头应有稳定压力在探头上，且保持探头移动扫查时，反射波形稳定。两次扫查之间应有 50% 晶片有效面积重合面，以防漏检。

10 结果解释

10.1 概述

球墨铸铁材料或工件中的宏观缺陷主要有疏松、缩松、缩孔、夹杂物、气孔等，这些缺陷在工件中的部位都有其独特规律，掌握这些缺陷分布的规律，对正确判断缺陷性质是十分重要的。

10.2 疏松

由于工件几何形状不规则，球墨铸铁在铸造和冷却过程中，在工件厚度突变的“热节”部位常出现疏松。球墨铸铁中疏松对超声波能量有吸收作用，使超声背面回波反射次数减少，疏松严重程度不同，背面回波反射次数在相同的灵敏度下也是不同的，轻微疏松如图 1a) 所示，有两次以上背面回波反射，如图 1b) 所示。

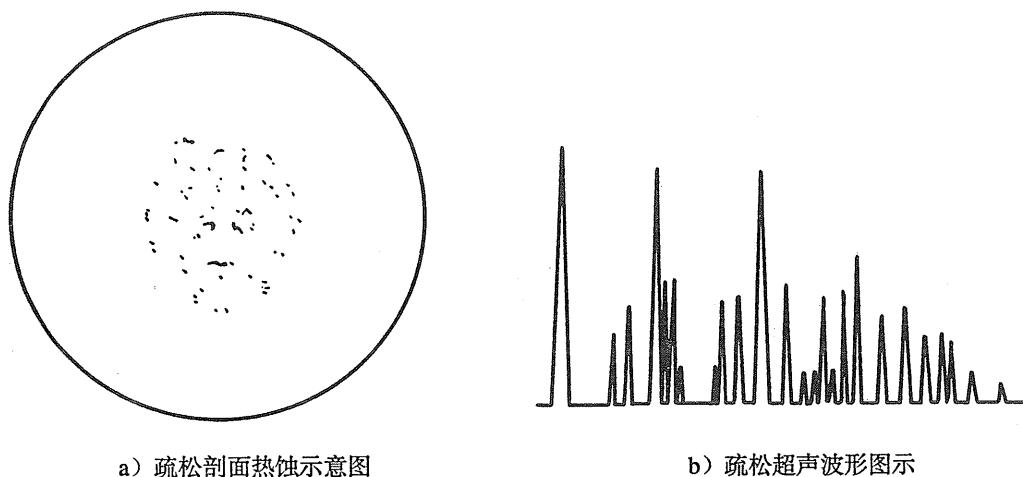


图 1 疏松的超声波形

10.3 缩松

在工件的解剖面上经热蚀后的缩松如图 2a) 所示，超声波束入射到缩松部位，会产生漫反射，使超声能量损失。背面回波反射次数减少，往往只有一次背面回波出现如图 2b) 所示。严重缩松会使背面回波全部消失，此时反射波小而低，几乎看不到有缺陷波反射，这种波形表明工件内部缩松是严重的。

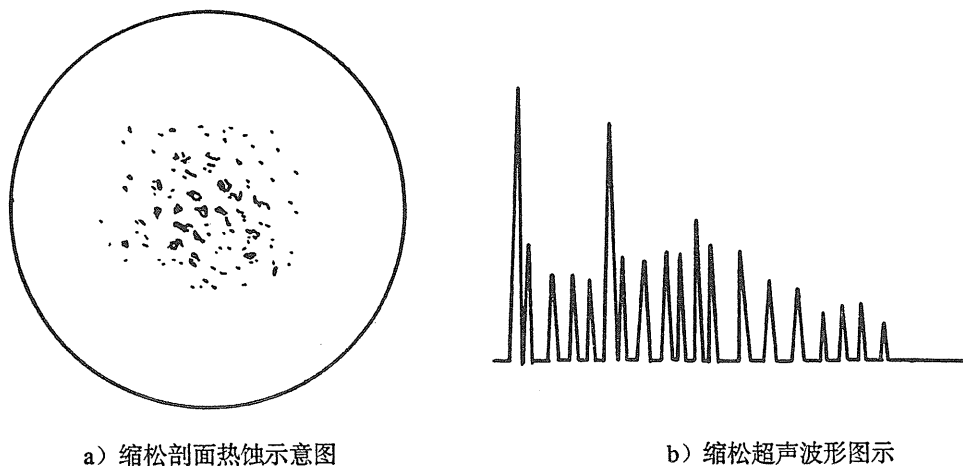
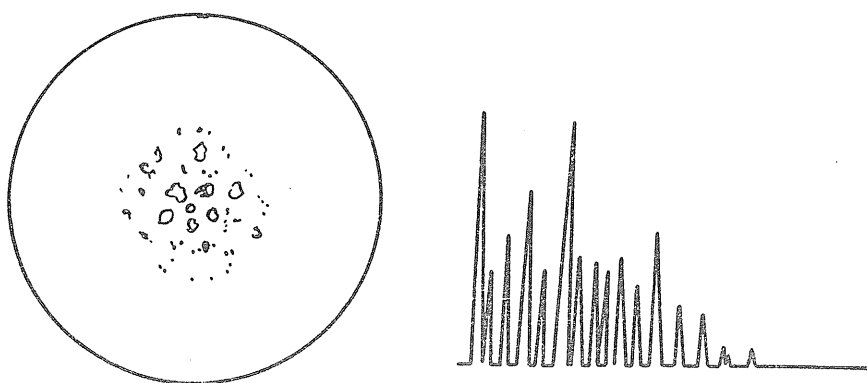


图 2 缩松的超声波形

10.4 缩孔

缩孔常出现在横截面较大工件的中心部位，缩孔周围往往伴有缩松出现，如图 3a) 所示，当超声波束入射到缩孔上，其中明显的缺陷波出现在一次背面回波之前，且伴随一群缺陷波出现如图 3b) 所示。



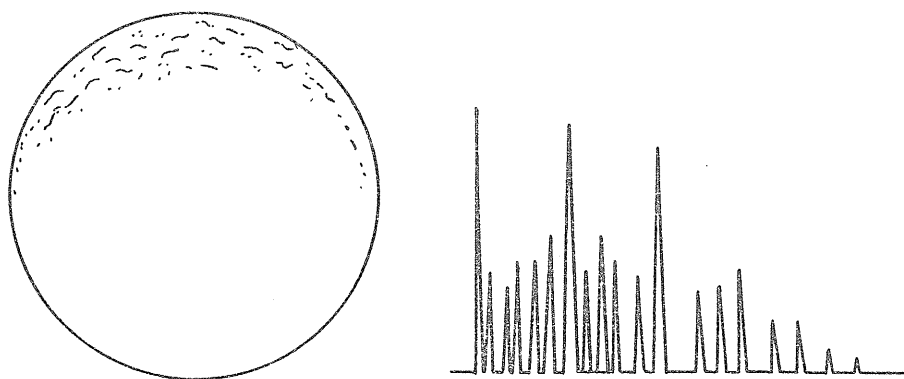
a) 缩孔剖面热蚀示意图

b) 缩孔超声波形图示

图 3 缩孔的超声波形

10.5 夹杂物

球墨铸铁件中的夹杂物出现的位置有一定规律性：常出现在工件铸造砂箱的上砂箱的工件上表面，特别是圆形轴类工件，夹杂物出现在工件上半圆的表面，如图 4a) 所示。当超声波束入射到球墨铸铁件的夹杂物上时，部分能量被吸收，呈现有二次背面回波且有杂波的反射。波形图如图 4b) 所示，严重的夹杂物出现林状波。



a) 夹杂物剖面热蚀示意图

b) 夹杂物超声波形图示

图 4 夹杂物的超声波形

10.6 气孔

球墨铸铁件的气孔，由于铸造时形成的原因不同，按气孔出现在工件部位的不同，可分为皮下气孔和内部气孔两种。

10.6.1 皮下气孔

皮下气孔出现在球墨铸铁工件表面以下到深度 5mm 的范围内，数量是成群出现在工件局部位置，皮下气孔直径在 0.8mm~2mm 范围内，如图 5a) 所示。若用一般直探头检测，皮下气孔在盲区范围内，难以判断，若用特制的双晶聚焦探头检测，则皮下气孔缺陷波十分清晰，且可把皮下气孔离探测面距离检测出来，其波形如图 5b) 所示。

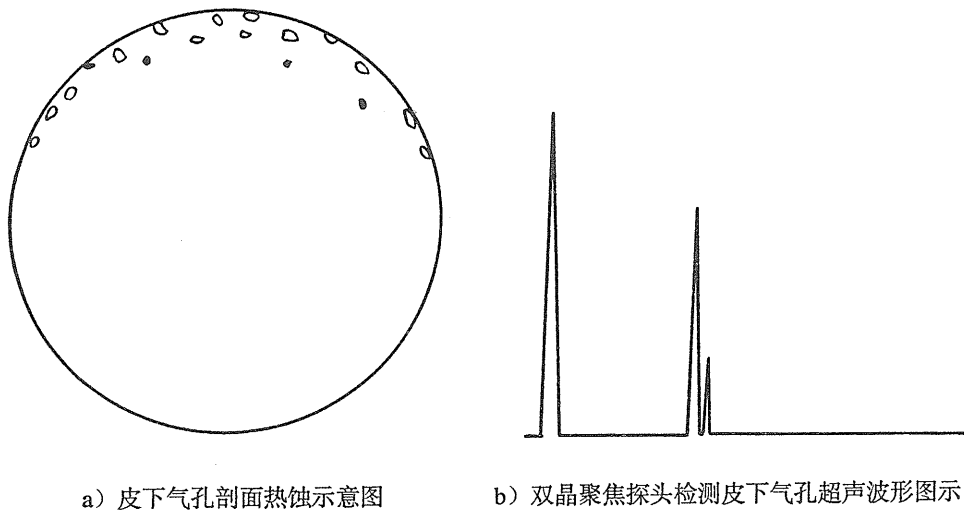


图 5 皮下气孔的超声波形

10.6.2 内部气孔

球墨铸铁件的内部气孔可分为单个气孔和气孔群两种。

10.6.2.1 单个气孔

单个气孔反射一个十分尖锐的缺陷波，当探头移动时此波很快消失。

10.6.2.2 气孔群

气孔群中间往往是一个大气孔周围有多个小气孔，如图 6a) 所示，反射波形特征是一次底波前有一个较高缺陷波，在它的前后又有多数小的缺陷波出现，如图 6b) 所示。

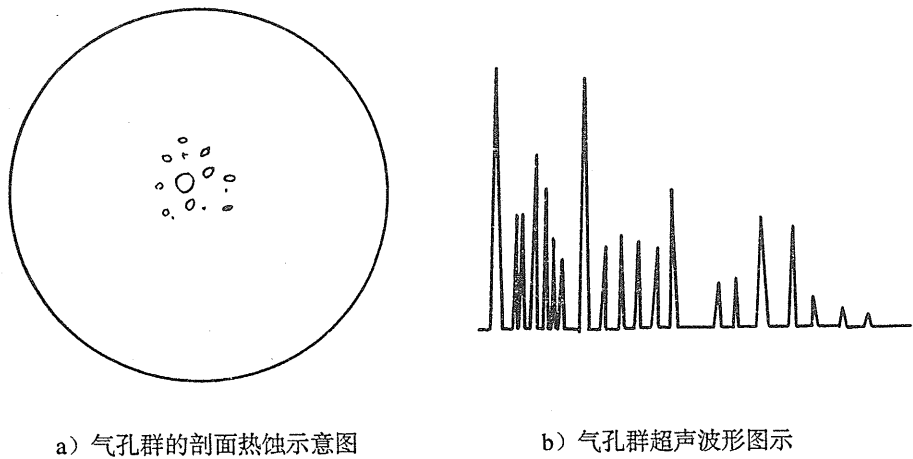


图 6 气孔群的超声波形

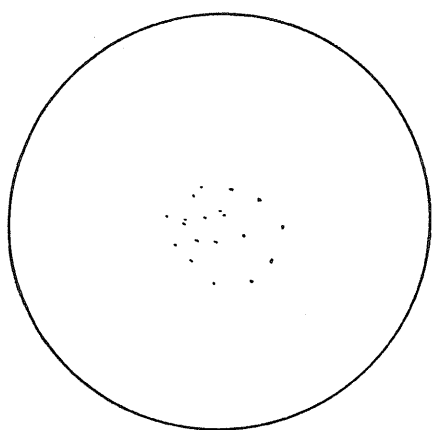
11 质量分级

11.1 按缺陷严重程度分级

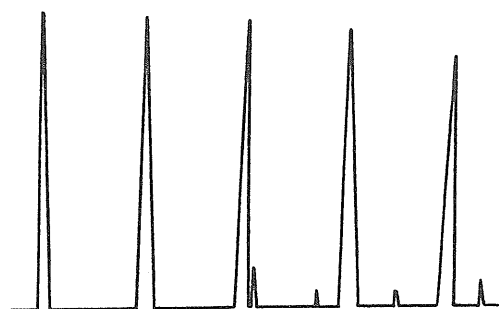
球墨铸铁内疏松和夹杂物缺陷严重程度，可利用超声波背面回波多次反射法对缺陷进行分级，按超声波反射波形不同分为 U1、U2、U3、U4 等四个级别，其缺陷与波形如图 7、图 8、图 9、图 10 所示。

11.2 按缺陷面积大小分级

控制球墨铸铁工件的质量，既要控制缺陷严重程度，还要控制缺陷面积大小，按照缺陷在声束轴线上投影正方形面积大小划分为五个级别，即：T1、T2、T3、T4、T5 等五个级别，如表 1 所示。

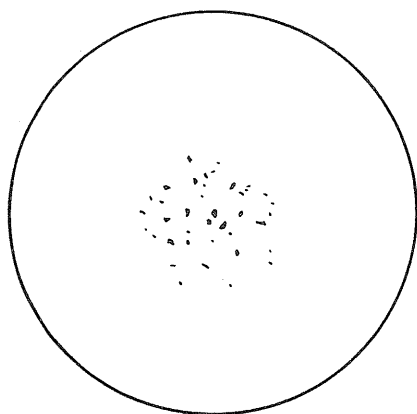


a) U1 级缺陷剖面热蚀

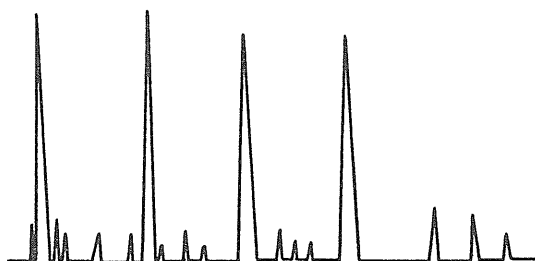


b) U1 级缺陷波形图示，其中第四次背面回波高度应达到 90% 幅度

图 7 U1 级示意图

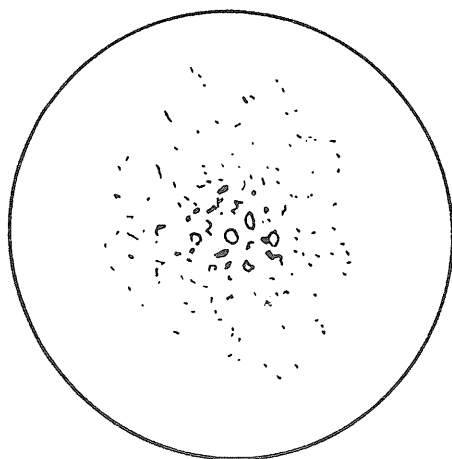


a) U2 级缺陷剖面热蚀图示

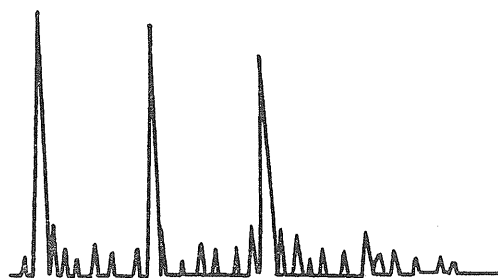


b) U2 级缺陷波形图示

图 8 U2 级示意图

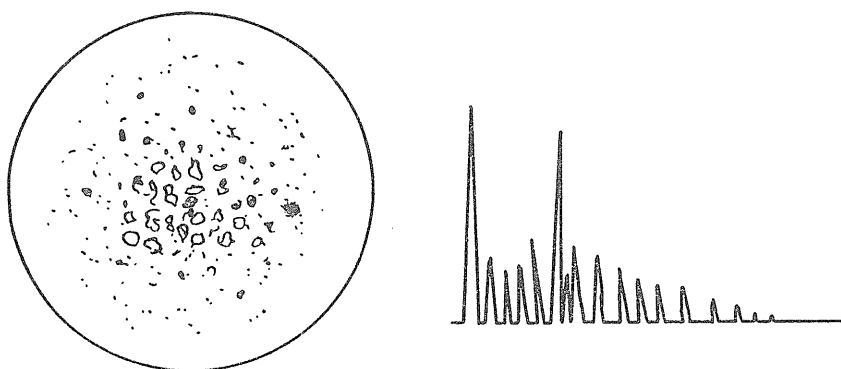


a) U3 级缺陷剖面热蚀图示



b) U3 级缺陷波形图示

图 9 U3 级示意图



a) U4 级缺陷剖面热蚀图示

b) U4 级缺陷波形图示

图 10 U4 级示意图

表 1 缺陷面积大小分级表

级 别	缺陷在声束轴线方向投影正方形面积 S
T1	$S \leq 10\text{mm} \times 10\text{mm}$
T2	$10\text{mm} \times 10\text{mm} < S \leq 20\text{mm} \times 20\text{mm}$
T3	$20\text{mm} \times 20\text{mm} < S \leq 35\text{mm} \times 35\text{mm}$
T4	$35\text{mm} \times 35\text{mm} < S \leq 50\text{mm} \times 50\text{mm}$
T5	$50\text{mm} \times 50\text{mm} < S \leq 70\text{mm} \times 70\text{mm}$

11.3 综合分级

对工件中某一处缺陷首先检测出缺陷严重程度，确定 U 类的级别；然后再测量缺陷投影面积大小，确定 T 类的级别，把二者组合在一起就是综合级别。

可根据球墨铸铁工件供、需双方协商同意 U 级-T 级综合级别，作为判废的技术条件。

客观生产上用球墨铸铁铸造的工件种类很多，每一种工件使用条件，受力状况，技术要求都不相同，在具体评定工件级别时应掌握如下原则：

- 首先考虑到缺陷严重程度（U 的级别），然后再考虑缺陷在声束轴线上投影面积大小（T 的级别），若缺陷比较严重（U 的级别大），即使缺陷面积较小（T 的级别小），也不能放过，例如：U3 级-T2 级缺陷比 U2 级-T3 级缺陷对工件危害大，所以 U2 级-T3 级缺陷作为合格，而 U3 级-T2 级缺陷作为不合格；
- 根据球墨铸铁工件在役时受力部位状况不同，评定级别也不同，工件危险断面，应从严控制；工件非危险断面，可适当放宽。

12 检测报告

每批球墨铸铁工件完成超声检测之后，根据检测结果，按第 11 章进行分级，应由 2 级以上超声检测人员编写检测报告，其内容应至少包括：

- 工件名称、材料牌号、生产批号、件号、数量、表面粗糙度、验收标准；
- 超声检测仪型号、检测方法，探头规格代号；
- 检测结果、级别评定、做出结论、必要时绘出工件草图、指出缺陷部位；
- 检测人员、报告审核人员资格级别、签名，报告日期，盖检测报告专用章。

附 录 A
(规范性附录)
QT-1 型球墨铸铁试块

A.1 QT-1 型球墨铸铁试块的技术要求

A.1.1 试块材料为经热处理正火的 QT-700-3 球墨铸铁。

A.1.2 试块球化率三级以上，基体组织中球光体含量 85% 以上，无磷共晶碳化铁。

A.1.3 试块内不允许有大于 $\Phi 1$ 平底孔当量缺陷。

A.1.4 试块表面粗糙度 $R_a \leq 1.6 \mu\text{m}$ 。

A.1.5 试块 $\phi 100$ 与 $\phi 75$ 之间有 $R3$ 过渡， $\phi 100$ 与 $\phi 50$ 之间为 $R5$ 过渡， $\phi 100$ 、 $\phi 75$ 、 $\phi 50$ 外圆面均为 $R2$ 倒角；

A.1.6 在试块 $\phi 100$ 外圆切进 5mm 弦，在 $\phi 100$ 外圆面 30° 处，钻 $\phi 2$ 横通孔，孔心离外圆面为 4mm，其他尺寸如图 A.1 所示。

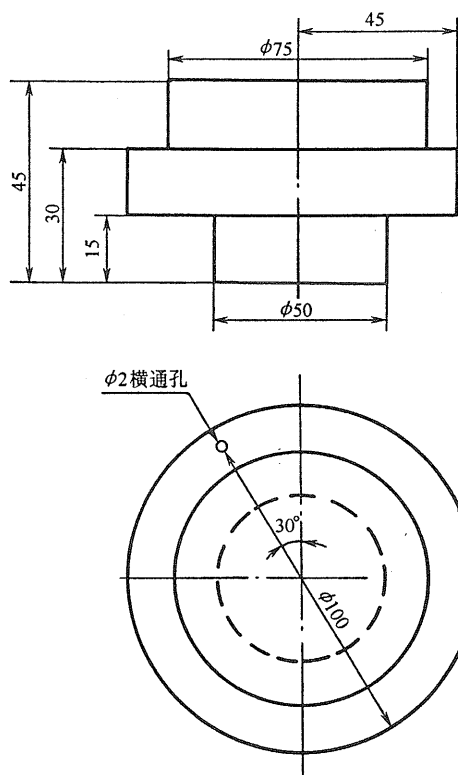


图 A.1 QT-1 型球墨铸铁试块示意图

A.2 QT-1 型试块的使用方法

A.2.1 利用 $\phi 100$ 、 $\phi 75$ 、 $\phi 50$ 外圆面校准不同直径球墨铸铁轴类的 U1 级灵敏度。

A.2.2 利用 $\phi 50$ 与 $\phi 75$ 两个平行平面，校准球墨铸铁平面工件 U1 级灵敏度。

A.2.3 利用 $\phi 100$ 与 $\phi 2$ 横通孔，测球墨铸铁件表面皮下气孔的埋藏深度。

附录 B

(规范性附录)

球墨铸铁球化率的超声波形

B.1 概述

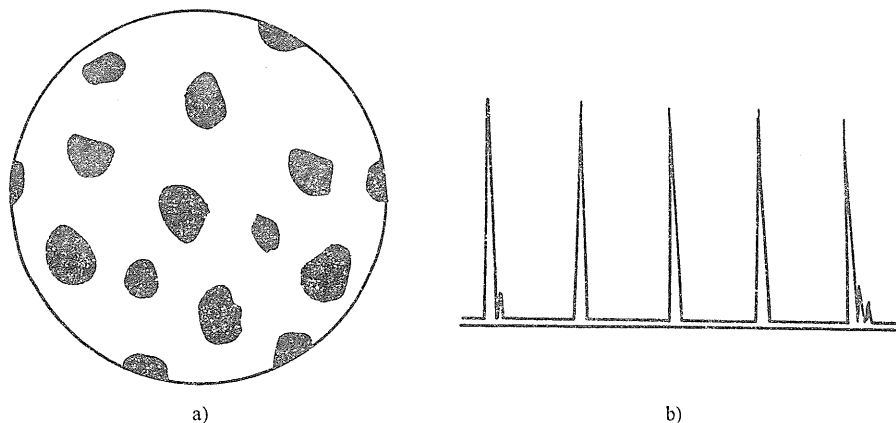
在球墨铸铁工件中，石墨形状不同，工件的强度就不同，对超声波能量的吸收也是不同的。而石墨各种形状是在铸造冶炼中形成的，一旦形成，则无法改变其石墨的形状。在球墨铸铁中，石墨被球化的程度称为球化率。由于铸造过程中，对铁水球化处理的工艺技术上的差异，成型后的球墨铸铁工件中的球化率是不同的，因而对超声波反射波形也是不同的。所以，在每次球墨铸铁件超声检测之前，首要任务是检测工件中的球化率，然后再检测工件中的各种缺陷。若球化率不合格，则判定此工件就不是球墨铸铁工件，下一步对各种缺陷的超声检测就没有必要进行下去了。这是超声检测球墨铸铁工件的基本原则。

B.2 检测球化率的灵敏度

按9.3方法确定检测灵敏度。

B.3 球状石墨的超声波形

由几何学知道：相同体积不同形状的物体，以球形物体的表面积为最小。所以，球墨铸铁中，球状石墨表面积为最小，具有球状石墨的工件其强度高，耐磨性能好。球状石墨（见图B.1a）的球径尺寸为0.08mm~0.1mm范围内变化，它比超声波之波长（以频率为2.5MHz为例），小一个数量级，所以超声波入射到球状石墨上会产生绕射作用。当球墨铸铁基本组织中珠光体含量在85%以上时（下同），对两个平行平面的球墨铸铁工件进行超声波探伤时，会出现多次背面回波反射。如图B.1a）所示的球状石墨工件会出现四次以上的背面回波反射，其波形图如图B.1b）所示。其中第四次背面回波反射高度为90%幅度。用超声波背面回波反射次数来检测工件的方法称为多次反射法。球墨铸铁的球化率常用超声波多次反射法来进行检测的。



a) 球状石墨（100×）示意图

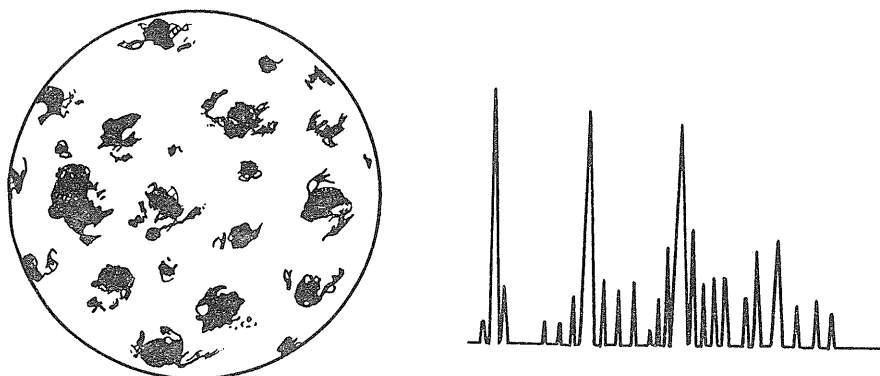
b) 球状石墨超声波形图示

图 B.1 球状石墨的超声波形

B.4 团絮状石墨的超声波形

声明：本资料仅供学习和交流，严禁用于商业用途！目录下载：<http://biaozhun.ysl68.com>

由于铸造冶炼时原铁水球化处理上的种种原因，球墨铸铁中会出现团絮状石墨，如图B.2a)所示。在相同的灵敏度下，团絮状石墨对超声波的反射波特征是背面回波反射次数减少，且有少量杂波出现，同时背面回波高度减低，一般团絮状石墨只有两次背面回波出现，如图B.2b)所示。



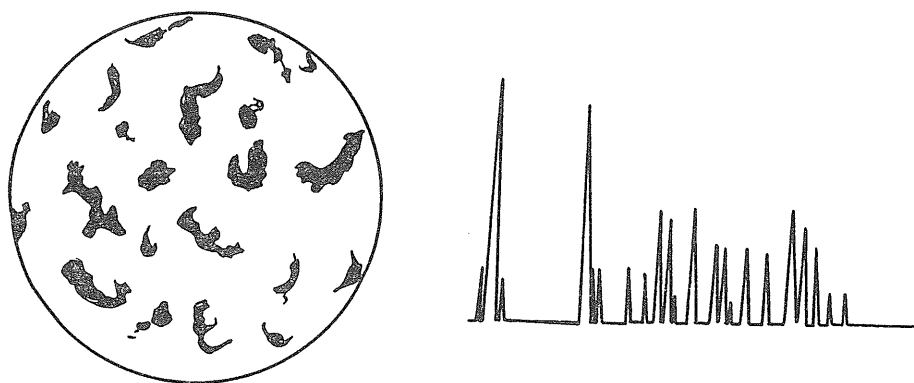
a) 团絮状石墨(100×)示意图

b) 团絮状石墨超声波形图示

图 B.2 团絮状石墨的超声波形

B.5 蠕虫状石墨的超声波形

蠕虫状石墨其石墨形状像蠕动的昆虫，称为蠕墨铸铁。如图B.3a)所示，它比团絮状石墨球化更差。在相同灵敏度下，蠕虫状石墨对超声波的反射是背面回波次数减少到只有一次，且较多杂波出现，蠕虫状石墨波形图如图B.3b)所示。



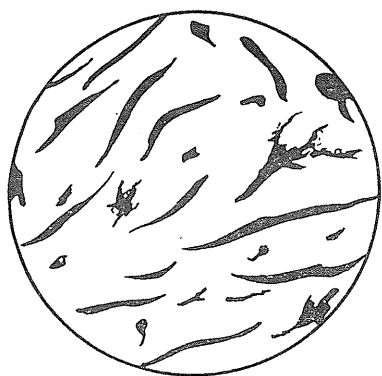
a) 蠕虫状石墨(100×)示意图

b) 蠕虫状石墨超声波形图示

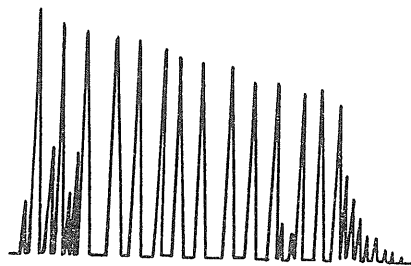
图 B.3 蠕虫状石墨的超声波形

B.6 片状石墨的超声波形

在冶炼时，由于球化处理上的原因在球墨铸铁工件内也会出现片状石墨，片状石墨如图B.4a)所示。片状石墨横截面呈现细长条状，它起到割裂基体的作用，使工件强度降低，片状石墨对超声波有漫反射作用，其反射波为林状波，而无背面回波出现。在相同灵敏度下，片状石墨对超声波的反射波特征是：无背面回波反射、呈现成群的林状波如图B.4b)所示。



a) 片状石墨 (100×) 示意图

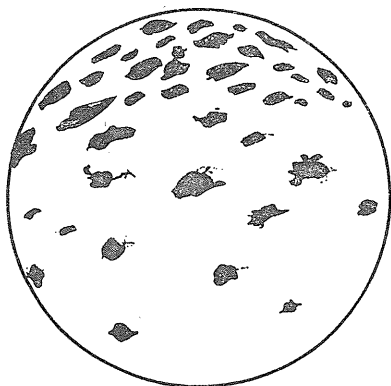


b) 片状石墨超声波形图示

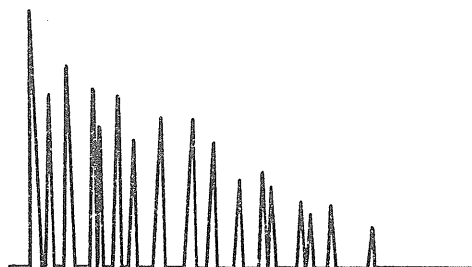
图 B.4 片状石墨的超声波形

B.7 石墨漂浮的超声波形

石墨漂浮如图B.5a)所示。常出现在球墨铸铁工件的局部位置上，石墨漂浮使工件强度降低。在相同灵敏度下，超声波入射到石墨漂浮区域上，会对超声波能量吸收，使背面回波次数减少波峰较低、而且杂波增多。如图B.5b)所示。



a) 石墨漂浮 (100×) 示意图



b) 石墨漂浮超声波形图示

图 B.5 石墨漂浮的超声波形

附录 C (规范性附录)

球墨铸铁基体组织的超声波形

C.1 概述

球墨铸铁基体组织包括珠光体、铁素体及少量的磷共晶和碳化铁。它们对超声波的衰减是不同的，对超声检测结果的影响是明显的。在基体组织中，珠光体加铁素体总和略小于100%。此外，还有不足1%的磷共晶和碳化物。铸态球墨铸铁经最终热处理后，其珠光体数量增加，铁素体数量减少，二者之和仍保持略小于或等于100%，如图C.1a)所示。

C.2 检测基体组织的灵敏度

按9.3的方法确定检测灵敏度。

C.3 珠光体的超声波形

C.3.1 在球化率良好的条件下(下同)，球墨铸铁中珠光体含量越高，则超声波衰减系数越小，其反射背面回波次数就越多。当珠光体量达到大于等于85%时，有4次以上的背面回波反射，第4次背面回波高度为90%幅度，且无杂波出现，如图C.1b)所示。此时球墨铸铁件强度高，耐磨性能好。

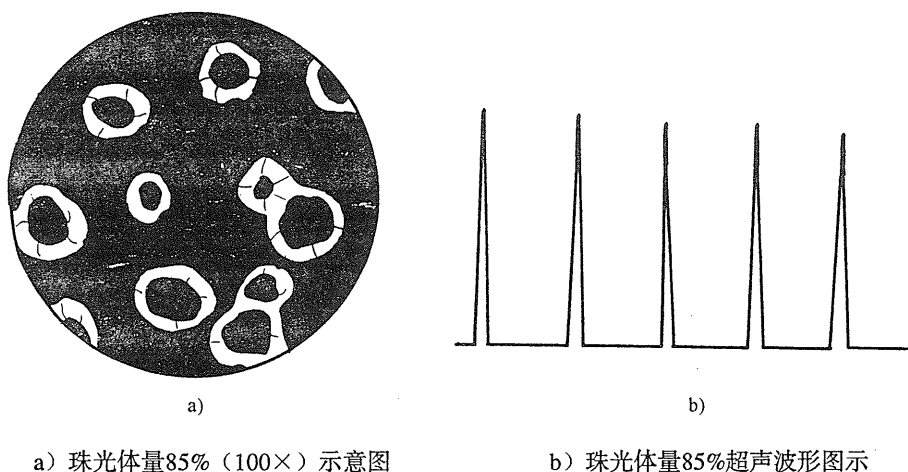


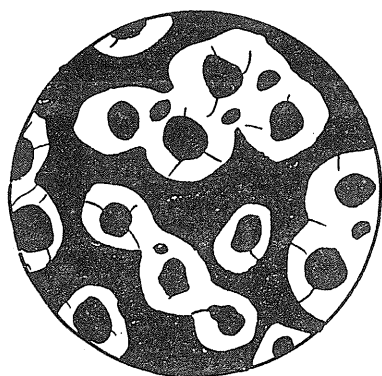
图 C.1 珠光体量 85% 的超声波形

C.3.2 随着球墨铸铁中珠光体数量减少时对超声波衰减量增加，当珠光体含量减少到50%时，如图C.2a)所示。其背面回波反射次数减少，且出现杂波，如图C.2b)所示。

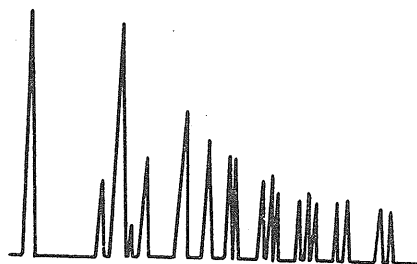
C.4 铁素体的超声波形

C.4.1 球墨铸铁中铁素体含量越小，则对超声波的能量衰减就越小，此时，超声波背面回波反射次数就越多。当铁素体含量小于等于15%，如图C.3a)所示则有四次以上背面回波反射，且无杂波出现，波形图如图C.3b)所示。

C.4.2 在基体组织中，随铁素体含量增加，则对超声波能量衰减也增加。当铁素体含量增加到50%时，如图C.4a)所示，此时对超声波吸收增大，衰减量增大，超声波背面回波反射次数减少，且有杂波出现，波形图如图C.4b)所示。

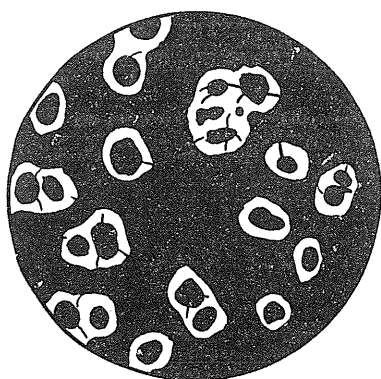


a) 珠光体量50% (100×) 示意图

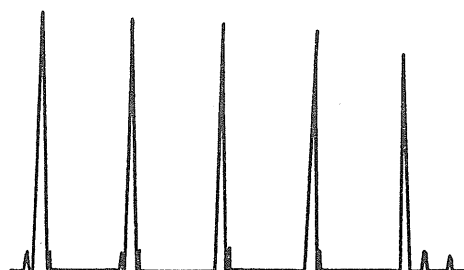


b) 珠光体量50%超声波形图示

图 C.2 珠光体量 50%的超声波形

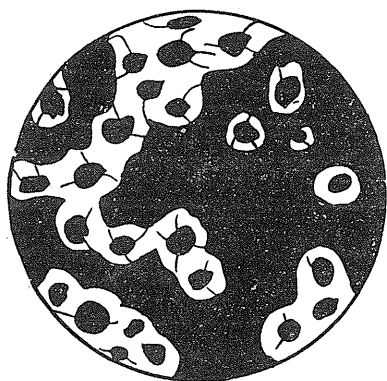


a) 铁素体量15% (100×) 示意图

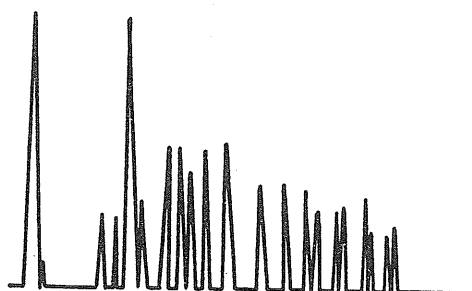


b) 铁素体量15%超声波形图示

图 C.3 铁素体量 15%的超声波形



a) 铁素体量50% (100×) 示意图



b) 铁素体量50%超声波形图示

图 C.4 铁素体量 50%的超声波形